

# Caracterización preliminar del Observatorio Central de Buenos Aires como Centro Regional de calibración de radiómetros solares

Nota Técnica SMN 2023-139

**Fernando Nollas, Julian Lell, Eugenia Maria Garbarini,  
Gerardo Carbajal Benitez, Maria Elena Barlasina y Giselle  
Marincovich**

*Dirección Central de Monitoreo del Clima. Servicio Meteorológico Nacional.*

Mayo 2023

### *Información sobre Copyright*

*Este reporte ha sido producido por empleados del Servicio Meteorológico Nacional con el fin de documentar sus actividades de investigación y desarrollo. El presente trabajo ha tenido cierto nivel de revisión por otros miembros de la institución, pero ninguno de los resultados o juicios expresados aquí presuponen un aval implícito o explícito del Servicio Meteorológico Nacional.*

*La información aquí presentada puede ser reproducida a condición que la fuente sea adecuadamente citada.*

## Resumen

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de Argentina opera una red solarimétrica en el territorio nacional, monitoreando parámetros radiativos como la radiación solar global, difusa, UVA, índice solar ultravioleta y radiación infrarroja atmosférica, entre otros.

Debido a las inclemencias meteorológicas y la condición de intemperie a la que se encuentran los radiómetros solares, es necesaria una calibración periódica con la finalidad de brindarles trazabilidad y confiabilidad a sus mediciones.

Para atender a las cuestiones relacionadas con trazabilidad, el SMN ha desarrollado el Laboratorio de Calibración e Intercomparación de Radiómetros Solares (LACIRS), el cual está encargado de realizar campañas de calibración e intercomparaciones con la finalidad de calibrar radiómetros solares con la mayor trazabilidad posible y de acuerdo a normativa establecida. Tal es así que el SMN fue designado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como Centro Regional de Calibración de Radiómetros Solares (RCC) por su participación en las intercomparaciones internacionales de pirheliómetros que se realizan en el Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos/World Radiation Center (PMOD/WRC) de Davos-Suiza. En este documento se presentan análisis y resultados preliminares acerca del comportamiento de diferentes parámetros meteorológicos con la finalidad de caracterizar el Observatorio Central de Buenos Aires como RCC.

## Abstract

The Servicio Meteorológico Nacional (SMN) of Argentina operates a solarimetric network in the national territory, monitoring radiative parameters such as global, diffuse, UVA solar radiation, ultraviolet solar index and atmospheric infrared radiation, among others.

Due to the inclement weather and the outdoor condition of the solar radiometers, a periodic calibration is necessary in order to provide traceability and reliability to their measurements.

To address issues related to traceability, the SMN has developed the Solar Radiometer Calibration and Intercomparison Laboratory (LACIRS), which is in charge of carrying out calibration and intercomparison campaigns in order to calibrate solar radiometers with the greatest possible traceability and according to established regulations. So much so that the SMN was designated by the World Meteorological Organization (WMO) as a Regional Center for Calibration of Solar Radiometers (RCC) for its participation in the international intercomparisons of pyrhelimeters that are carried out at the Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos/World Radiation Center (PMOD/WRC) from Davos-Switzerland.

This document presents preliminary analyzes and results about the behavior of different meteorological parameters in order to characterize the Central Observatory of Buenos Aires as RCC.

**Palabras clave:** radiación solar, caracterización, calibración de radiómetros solares.

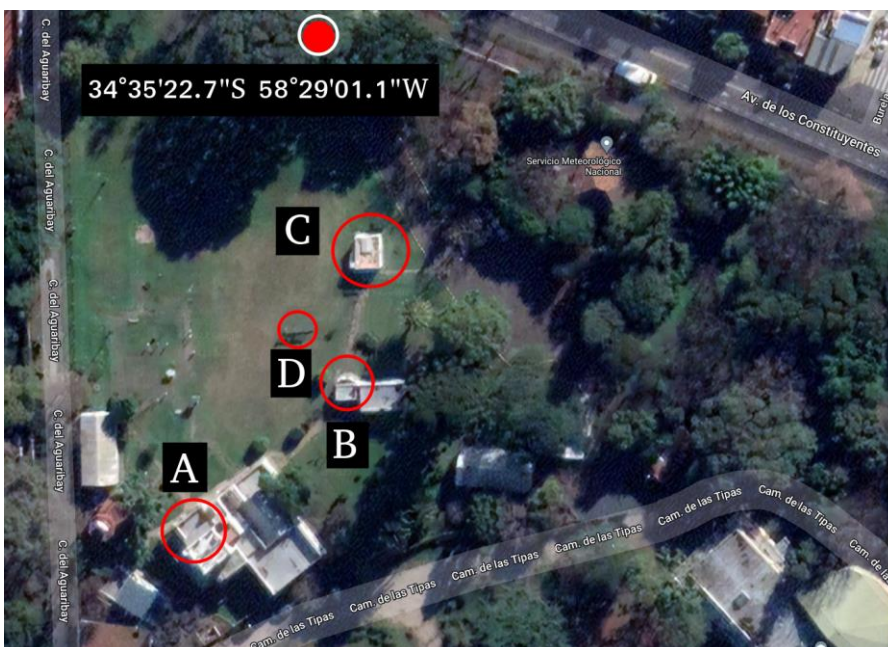
**Citar como:** Nollas F., Lell J., Garbarini M.E., Carbajal G., Barlasina M.E., Marincovich G., 2023:

Caracterización preliminar del Observatorio Central de Buenos Aires como Centro Regional de calibración de radiómetros solares. Nota Técnica SMN 2023-139.

## 1. INFRAESTRUCTURA Y UBICACIÓN

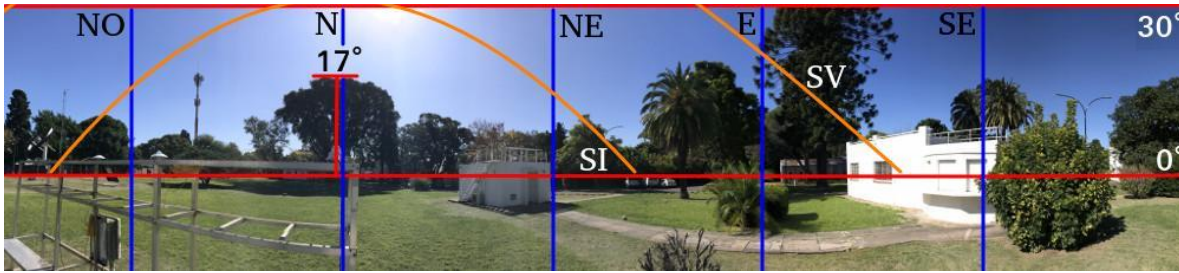
El Observatorio Central de Buenos Aires (OCBA), donde opera el Laboratorio de Calibración e Intercomparación de Radiómetros Solares (LACIRS), se encuentra ubicado en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires con coordenadas: lat= -34.59° y long= -58.48° y a.s.n.m.= 24 m. El predio se encuentra dentro del parque de Agronomía, por lo cual posee cierto resguardo del viento en función de las edificaciones y vegetación presentes en la zona. En la Figura 1 se pueden apreciar las diferentes edificaciones pertenecientes al predio.

Sobre la terraza del edificio “C” (Figura 1) se cuenta con una mesa de hierro adecuada para la calibración de todo tipo de radiómetros solares. En dicho edificio también se encuentran disponibles los servicios de electricidad y conexión a internet, necesarios para proveer alimentación a los adquirentes de datos y monitorear el progreso del proceso de calibración de forma remota.

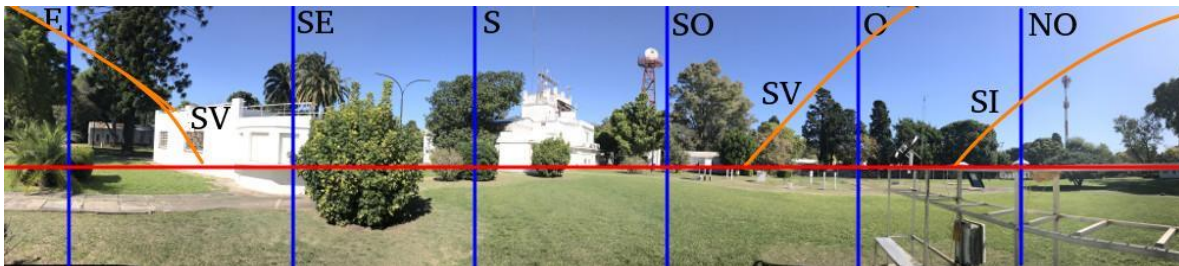


**Fig. 1:** Mapa satelital del OCBA., indicando los sitios relevados. A. Laboratorio, 1er piso del Edificio principal. B. Sala procesamiento de datos. C. Instalación del Espectrómetro Dobson, mesada para intercomparación en la terraza. D. Mesada para observación permanente de la radiación solar. Fuente: Google Maps.

En las Figuras 2 y 3 es posible apreciar las interferencias presentes durante el año; en dichas Figuras se indica con trazos de color naranja las trayectorias solares correspondientes a ambos solsticios, lo cual permite establecer que el sitio es adecuado para realizar calibraciones tanto de piranómetros como de pirheliómetros en todo momento (las interferencias producidas por los árboles del predio solo afectan durante las horas de la mañana, en las cuales la irradiancia es baja, y los datos son descartados).

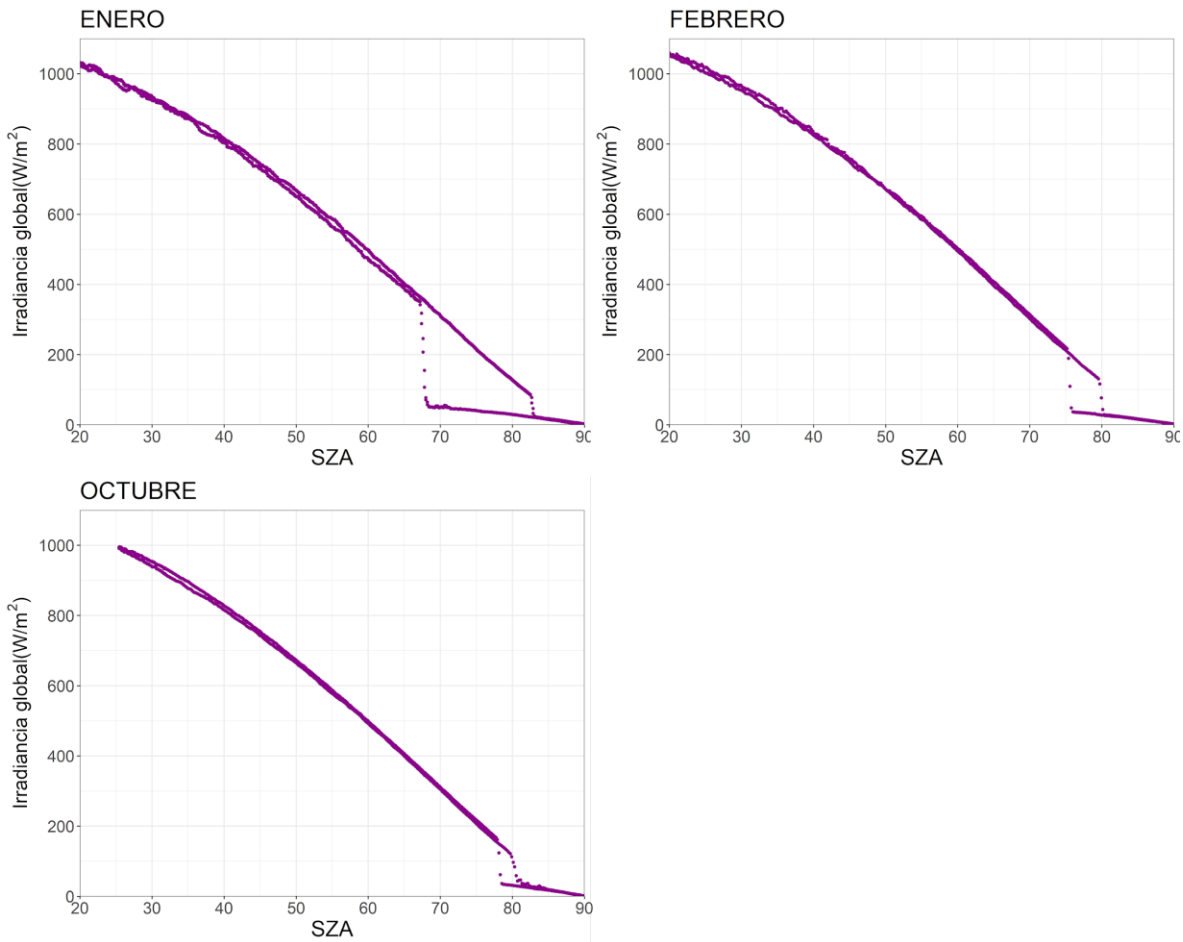


**Fig. 2:** Fotografía panorámica de cielo y horizonte cubriendo la fracción NO-S. E. Es posible apreciar la interferencia de árboles altos en cercanías del solsticio de verano (SV) para valores de ángulo solar cenital mayores a  $60^\circ$ , mientras que en el solsticio de invierno las interferencias solo aparecen por arriba de  $80^\circ$ . En la parte superior de la Figura se indica la altura solar.



**Fig. 3:** Fotografía panorámica de cielo y horizonte cubriendo la fracción E-N. Completado todos los posibles valores para el ángulo azimutal, se puede apreciar que no existen obstáculos de relevancia que impidan la medición de radiación global en plano horizontal. La mayoría de las interferencias poseen un ángulo solar cenital mayor a  $70^\circ$ . Nuevamente, se puede notar que la mayor interferencia ocurre en las horas del amanecer durante el solsticio de verano (SV).

Si bien la mesada en la que se realizan las intercomparaciones se encuentra a unos 4 metros sobre el nivel del suelo, existe arboleda aledaña inherente por estar dentro de un parque que proyecta sombra sobre la plataforma en los momentos iniciales y finales del día; a pesar de esto, los radiómetros reciben radiación solar durante gran parte de la jornada, con lo cual el sitio es adecuado para su uso en procesos de calibración e intercomparación. Para poder conocer la interferencia que dicha arboleda representa en las calibraciones de radiómetros solares se analizaron los datos disponibles de mediciones realizadas en la mesada. En la Figura 4 se muestra el comportamiento de la irradiancia solar global horizontal (*GHI*, por sus siglas en inglés) medida sobre la mesada en días de cielo claro durante los meses de octubre, enero y febrero en función del ángulo solar cenital (*SZA*, por sus siglas en inglés). Un  $SZA=0^\circ$  corresponde al zenith local mientras que, en momentos de salida y puesta del sol, se tiene  $SZA=90^\circ$ .



**Fig. 4.** GHI en función del SZA para días correspondientes a días de cielo claro en enero, febrero y octubre.

Se escogieron los meses de octubre, enero y febrero ya que presentan condiciones de irradiancia y geometría solar similares a las de marzo, noviembre y diciembre respectivamente. Al analizar los gráficos se puede ver que hay ángulos específicos a partir de los cuales la irradiancia disminuye considerablemente, perdiendo así la tendencia suave descendente. En todos los meses se observa la proyección de sombra por parte de la arboleda ubicada en la parte oeste del parque a partir de  $SZA > 80^\circ$ . Por otro lado, en el caso de febrero y octubre se observa que, durante las primeras horas de sol, a partir de  $SZA < 75^\circ$  la irradiancia se comporta de manera similar que en la tarde. Distinto es el caso de enero, donde se puede ver que esto ocurre recién para  $SZA < 65^\circ$ . Este hecho se suma al inherente aumento en la incertidumbre a medida que el SZA aumenta debido a cuestiones constructivas de los radiómetros. Por todo esto es que se establece que las calibraciones de radiómetros solares se desarrollarán en el RCC considerando un valor umbral máximo de  $SZA = 65^\circ$ .

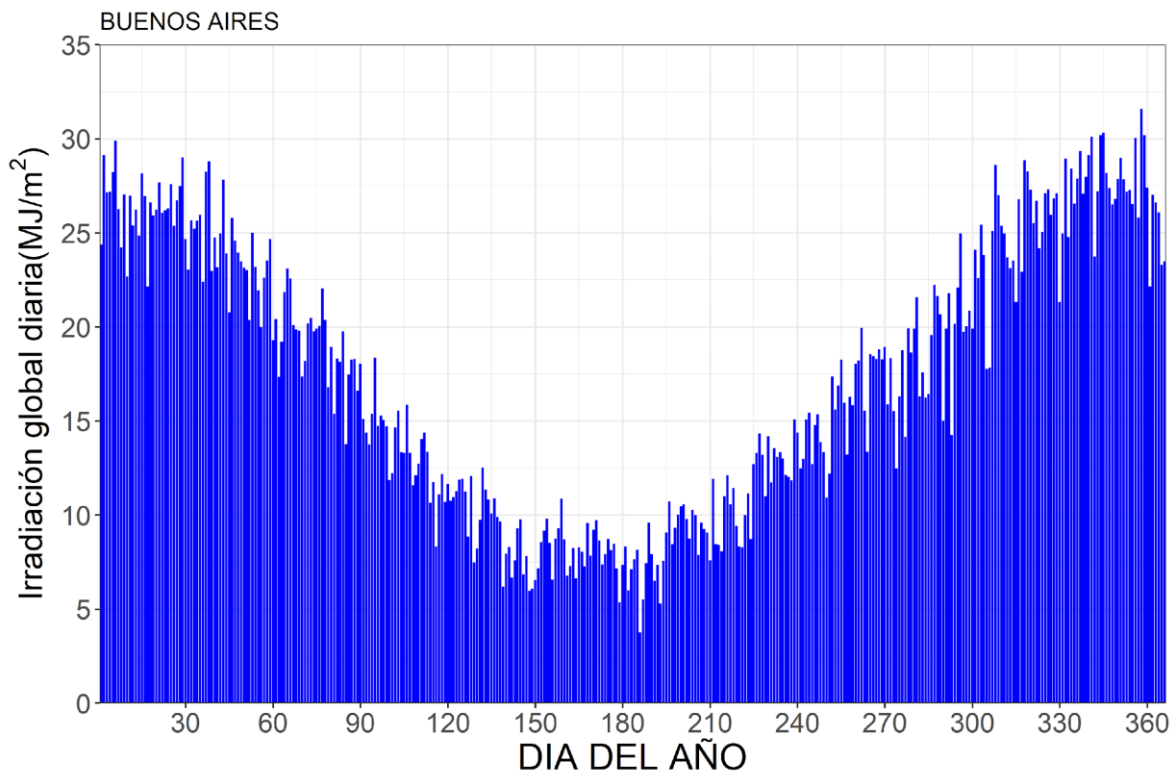
## 2. ANÁLISIS DE RADIACIÓN SOLAR

Teniendo en cuenta que el RCC se centra en radiómetros solares, una caracterización de la radiación solar es fundamental para conocer este parámetro en sus diferentes longitudes de onda y componentes.

## 2.1 Radiación solar global y directa

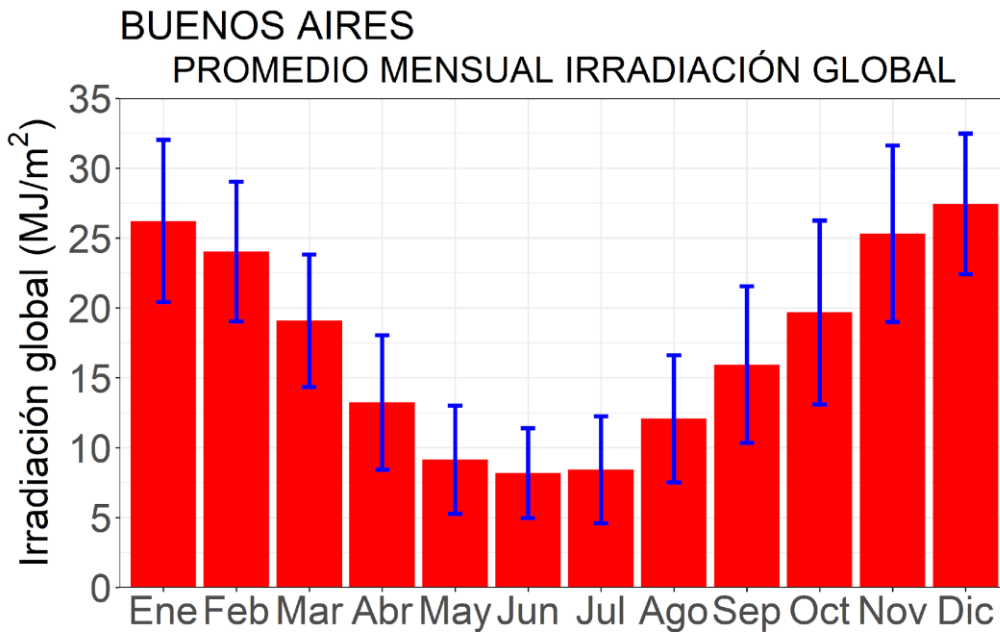
En el predio del OCBA se monitorea, de manera operativa, la *GHI* y la irradiancia solar difusa horizontal (*DHI*, por sus siglas en inglés). Ambos parámetros se miden utilizando piranómetros termoeléctricos de la marca Kipp&Zonen con modelos CMP11 para *GHI* y CM11 para *DHI* junto con el aro sombreador CM121, el cual proyecta sombra sobre el CM11 que mide *DHI*. Ambos piranómetros poseen trazabilidad al Physikalisch-Meteorologisches Observatorium Davos/World Radiation Center (PMOD/WRC) de Davos-Suiza.

En la Figura 5 se muestra el comportamiento anual de la irradiancia solar global diaria. Para el análisis se consideraron datos de *GHI* para el periodo 2012-2019 y se obtuvo la irradiancia global diaria en base a los datos minutales (integrando) para, finalmente, promediar los valores obtenidos para cada día del año. Se puede ver un comportamiento estacional, alcanzando mayores valores durante el verano austral y menores durante el invierno austral. Antes de procesar los datos, los mismos pasaron un proceso de filtrado de calidad establecido en la literatura científica (Long y Shi, 2008).



**Fig. 5.** Comportamiento anual de la irradiancia solar global diaria medida en la ciudad de Buenos Aires.

Para un análisis mes a mes, en la Figura 6 se visualiza el promedio mensual de irradiancia solar global diaria en base a todos los valores de irradiancia solar global diaria disponibles dentro del periodo considerado con una desviación estándar. A partir de este gráfico se puede corroborar que los meses con mayor irradiancia solar en superficie corresponden a noviembre, diciembre, enero y febrero. Asimismo, teniendo en cuenta que la nubosidad presenta el mayor factor de modulación de la radiación solar, una mayor variabilidad se observa en los meses de verano también, por lo que un análisis de la nubosidad medida en el OCBA, se presenta en la sección 3. En consecuencia, desde el punto de vista solarimétrico, los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero se presentan como los más favorables para llevar adelante calibraciones de radiómetros solares.



**Fig. 6:** Promedio mensual de la irradiación solar global diaria medida en el OCBA, ilustrada con barras en rojo y su desviación estándar (línea azul).

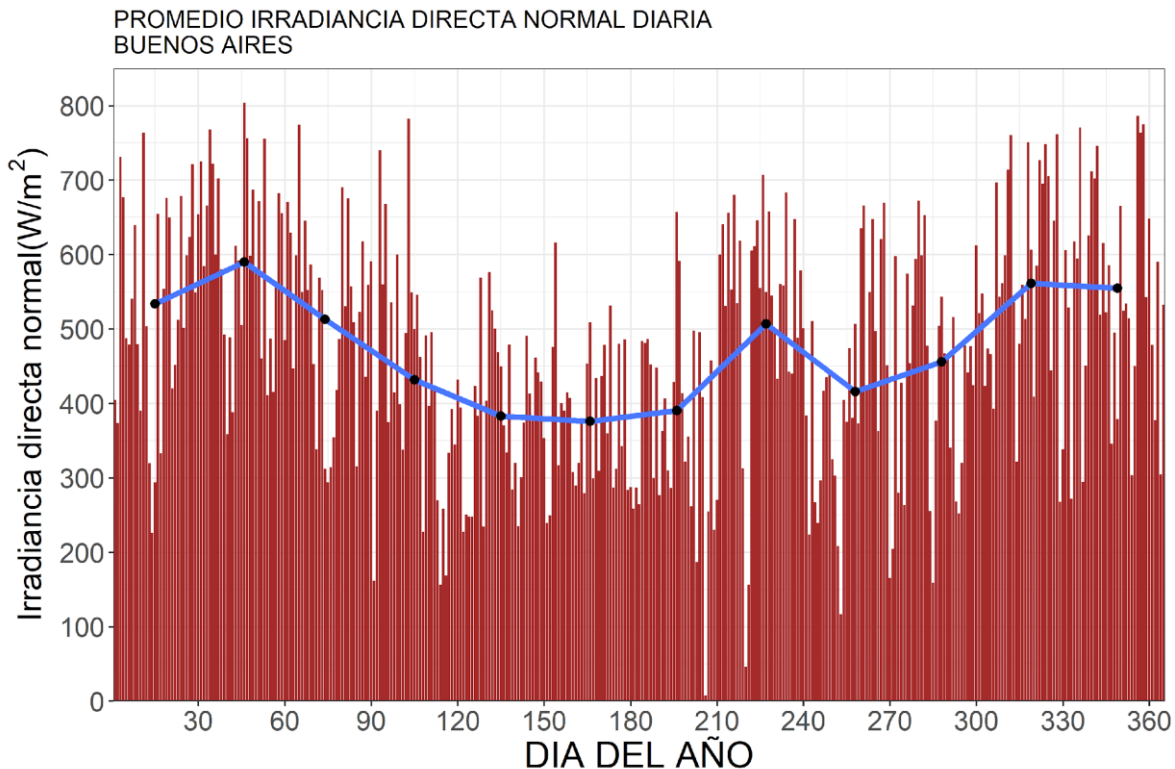
Por otro lado, la expresión 2.1 establece la relación entre las diferentes componentes de la radiación solar que alcanza la superficie, donde *DNI* corresponde a la irradiancia solar directa normal y *SZA* al ángulo solar cenital.

$$DNI = (GHI - DHI) / \cos(SZA) \quad (2.1)$$

La expresión 2.1 se puede utilizar para estimar la *DNI* en base a mediciones de *GHI* y *DHI*. Es importante resaltar que la *DNI* se puede medir de manera confiable únicamente utilizando un pirheliómetro instalado en un seguidor solar. La importancia de caracterizar la *DNI*, aun obtenida de manera indirecta, radica en el hecho de que se recomienda que las intercomparaciones de pirheliómetros sean realizadas bajo condiciones radiativas tales que  $DNI > 600 \text{ W/m}^2$ . Para caracterización de *DNI* y calibración de pirheliómetros, el SMN cuenta con dos pirheliómetros absolutos de cavidad debidamente calibrados: Davos Instruments PMO8 (calibración Davos) y TMI MK VI (calibración NREL).

En la Figura 7 se presenta un promedio diario de los valores diurnos estimados de *DNI* utilizando la expresión 2.1 y, en el mismo gráfico, también el promedio mensual. Para obtener los valores de *DNI* se utilizaron las mediciones de *DHI* entre 2018 y 2021. Si bien en el mes de agosto se observa un aumento considerable respecto a la tendencia del mes anterior y posterior, este valor anómalamente superior al esperable, puede estar relacionado a la técnica de medición utilizada. En este caso, la *DHI* se mide utilizando un aro sombreador y no un seguidor solar, siendo la tarea de acomodar el aro llevada delante de manera manual.





**Fig. 7:** Comportamiento del promedio diario de DNI y del promedio diario mensual (línea con puntos) estimados para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

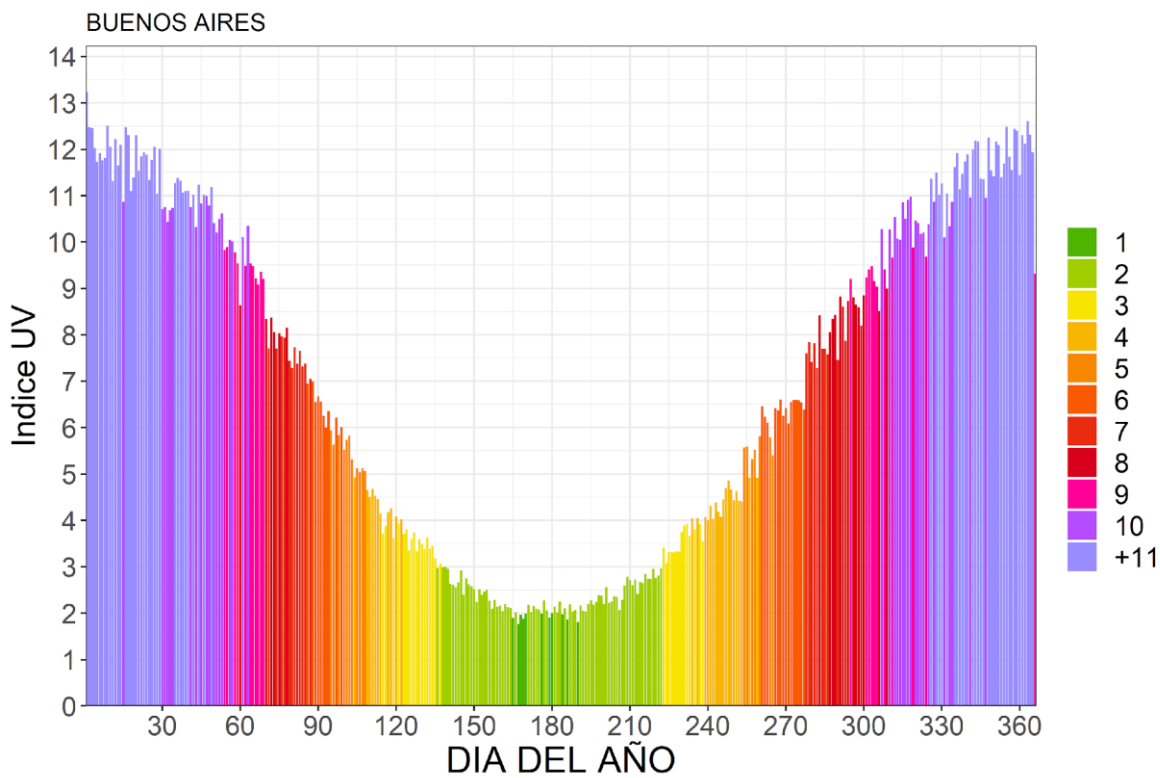
En base a los valores obtenidos para el promedio diario de *DNI* estimado para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, se observa que los meses de noviembre a marzo presentan promedios superiores a  $500 \text{ W/m}^2$ , por lo que estos meses se presentan como los más recomendables para realizar intercomparaciones de pirheliómetros.

## 2.2 Índice solar ultravioleta

El índice solar ultravioleta (UVI) es un parámetro estandarizado y adoptado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y OMM para alertar a la población ante el riesgo asociado con sobreexposición a la radiación solar ultravioleta (World Health Organization, 2002). Un análisis anual y mensual de los valores de UVI regionales para Argentina fue presentado por Nollas y otros (2020) en base a información climatológica relevada por Luccini y otros (2006). El UVI establece una paleta de colores y riesgo asociado a cada número entero desde el valor  $\text{UVI}=1$  hasta el valor  $\text{UVI}=11$ , a partir del cual se considera extremo independientemente del valor. Luccini y otros (2022) presentaron una paleta de colores capaz de distinguir valores de UVI hasta 24 que, además, salva algunas inconsistencias que presenta la estandarización actual adoptada a nivel mundial.

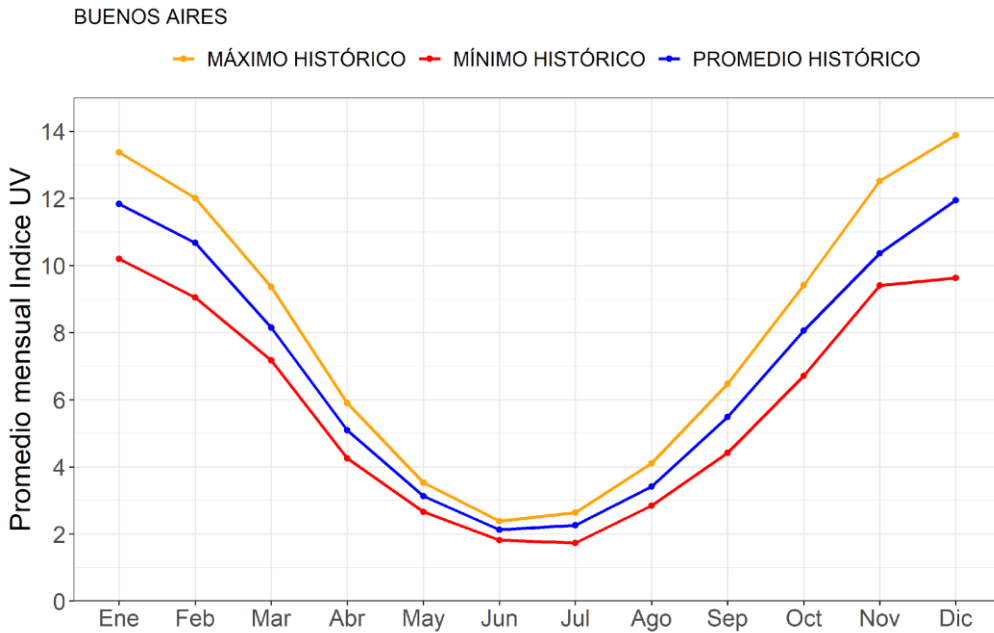
El SMN se ha involucrado de manera activa en la trazabilidad de los radiómetros UV que opera, organizando una intercomparación en la que se calibraron todos los radiómetros de su red (Nollas y otros, 2019).

La Figura 8 presenta el comportamiento diario del UVI máximo por día a lo largo de un año. Cabe aclarar que el valor máximo de UVI, en un determinado día, no necesariamente ocurre durante el mediodía solar si el día en cuestión presenta nubosidad. Sin embargo, suele ser el parámetro elegido debido a que está asociado con el momento de mayor riesgo ante exposición prolongada a la radiación UV. Tal como ocurre con los valores de GHI, el UVI presenta un comportamiento estacional mostrando mayores valores durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero. Estos meses son los que, solarimétricamente, presentan mejores condiciones para realizar intercomparaciones de radiómetros UV. Asimismo, es necesario considerar que los radiómetros UV no tienen tanta estabilidad en su sensibilidad como la que poseen los piranómetros termoelectrónicos, por lo que su calibración frecuente se torna una necesidad para poder establecer la confiabilidad en sus mediciones.



**Fig. 8:** Comportamiento del máximo diario de UVI medido en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

El comportamiento del promedio mensual de UVI máximo diario se presenta en la Figura 9 junto con valores de promedios mensuales máximos y mínimos históricos alcanzados en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

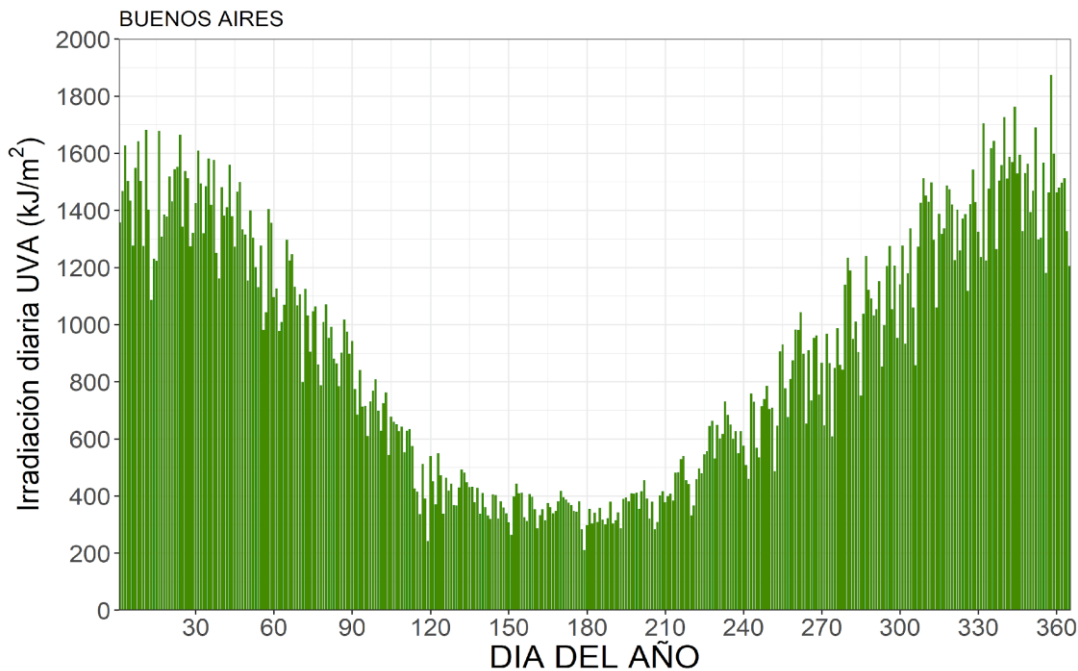


**Fig. 9:** Valores mensuales correspondientes al promedio, máximo y mínimo históricos del índice UV medido en el O.C.B.A.

### 2.3 Radiación solar UVA

La radiación solar UVA abarca las longitudes de onda entre 315/320 nm a 400 nm, a partir de la cual se considera dentro del espectro visible. Las mediciones de radiación solar UVA se obtienen en la estación de Villa Martelli, perteneciente al Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa (CITEDEF) desde el año 2014, utilizando un radiómetro de la marca YES y modelo UVA-1. Las mediciones se adquieren de manera minutal y en este trabajo se consideraron los valores obtenidos desde el inicio de las mediciones hasta el 2020.

En la Figura 10 se puede observar el comportamiento anual de la irradiación solar diaria UVA. Para el análisis se obtuvo la irradiación diaria UVA en base a los datos minutales y se promediaron los valores obtenidos para cada día del año.



**Fig. 10:** Comportamiento anual de la irradiación solar diaria UVA promedio medida en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

## 2.4 Radiación atmosférica infrarroja

La atmósfera y la superficie intercambian radiación infrarroja debido a diferencias de temperatura y dicho intercambio puede ser medido por medio de un pirgeómetro. El SMN opera en el OCBA un pirgeómetro modelo CGR4 de la empresa Kipp&Zonen desde el año 2017, siendo posible obtener con este la irradiancia infrarroja que proviene de la bóveda celeste. Este valor se obtiene a partir de las mediciones del sensor y utilizando, además, un sensor de temperatura que permite estimar la emisión electromagnética misma del sensor. Así, se puede obtener la irradiancia infrarroja recibida desde la bóveda celeste como la suma del intercambio entre ambas emisiones (normalmente negativa). La emisión del sensor es obtenida como la constante de Stefan-Boltzman multiplicada por la temperatura elevada a la cuarta potencia.

En el presente trabajo se utilizaron los valores minutales de irradiancia infrarroja atmosférica que pasaron los filtros establecidos en la literatura (Long y Shi, 2008) y se obtuvo un promedio diario, el cual se expresa en unidades de  $W/m^2$ . En la Figura 11 se puede observar el comportamiento anual del promedio diario de irradiancia atmosférica, obtenido como el promedio por día de los promedios diarios.

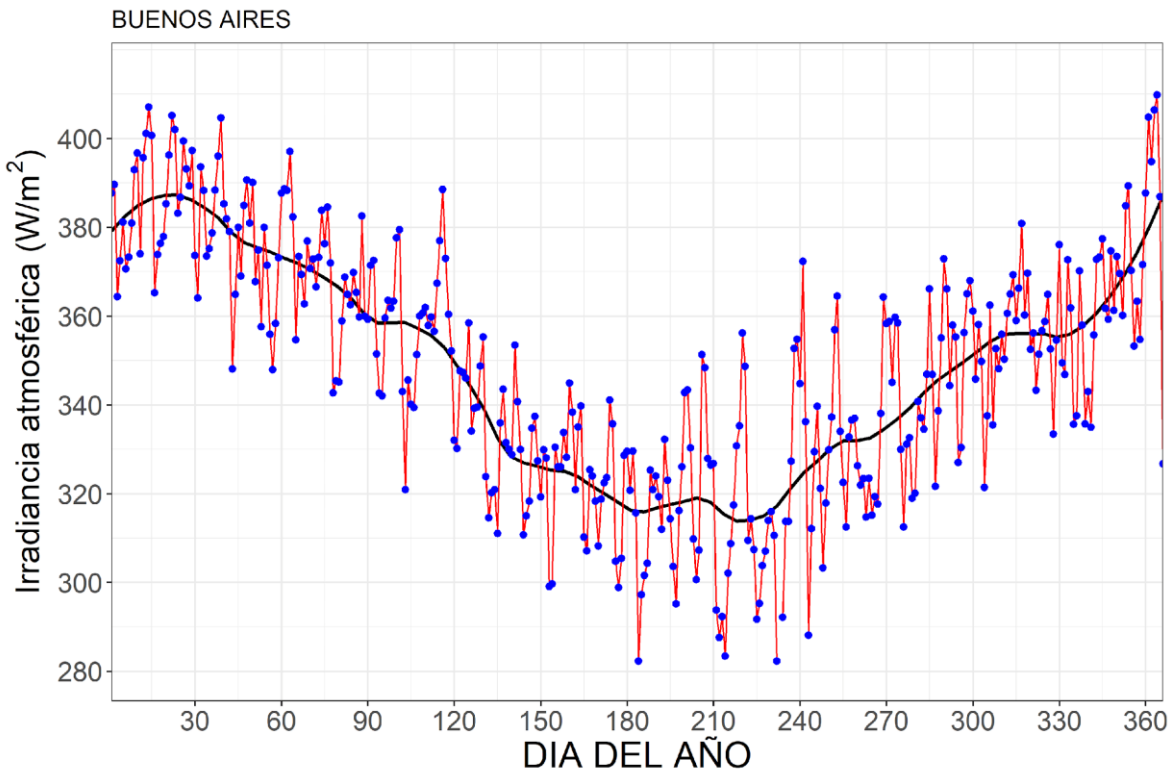


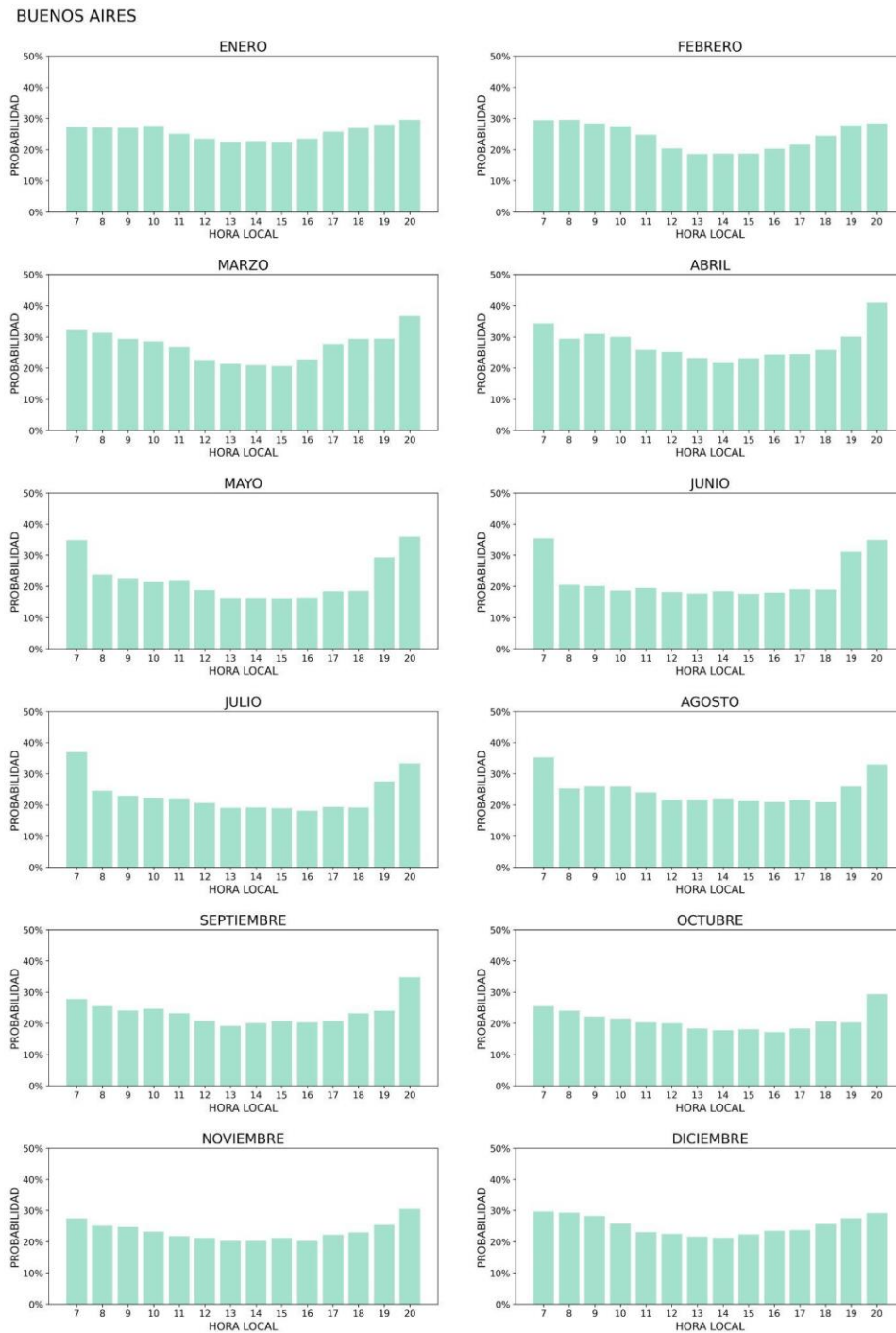
Fig. 11: Comportamiento anual de la irradiancia atmosférica medida en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

### 3. ANÁLISIS DE NUBOSIDAD

En la siguiente sección se realiza una caracterización de la nubosidad en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires a partir de la estación meteorológica convencional O.C.B.A., con el objetivo de conocer el comportamiento medio de dicha variable para tener en cuenta a la hora de realizar la calibración de radiómetros solares. Según la Guía de Instrumentos y Métodos de Observación de la Organización Meteorológica Mundial ([https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=11386](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11386)), la nubosidad propiamente dicha puede medirse en función de la cantidad de nubosidad en el cielo, la altura de la base de las nubes y el tipo de nubosidad. En particular, la cantidad de nubosidad o cobertura nubosa se define como la fracción del cielo cubierta por todas las nubes visibles al momento de realizar la observación o medición. A partir de este concepto, la nubosidad puede tomar valores de 0 a 8 octavos, donde 0 octavos corresponde a cielo despejado y 8 octavos a cielo totalmente cubierto. Ocasionalmente la nubosidad también puede alcanzar el valor de 9, indicando que hay invisibilidad por fenómenos meteorológicos (por ej.: niebla). En este caso, se decidió caracterizar la nubosidad de Ciudad Autónoma de Buenos Aires únicamente a partir de los datos disponibles de cantidad de nubosidad presente en el cielo. Para ello, se utilizaron datos horarios de nubosidad de 7 hs a 20 hs y para el período 1981-2021.

Se procedió a analizar los eventos de cielo despejado, considerados como aquellos momentos del período de estudio en los que se registró nubosidad igual a 0 octavos. Se tuvieron en cuenta los días del periodo en los cuales se registró cielo despejado para calcular la probabilidad de tener al menos una hora con cielo despejado según la hora local y para cada mes (Fig. 12). En particular puede verse que, para todos los meses,

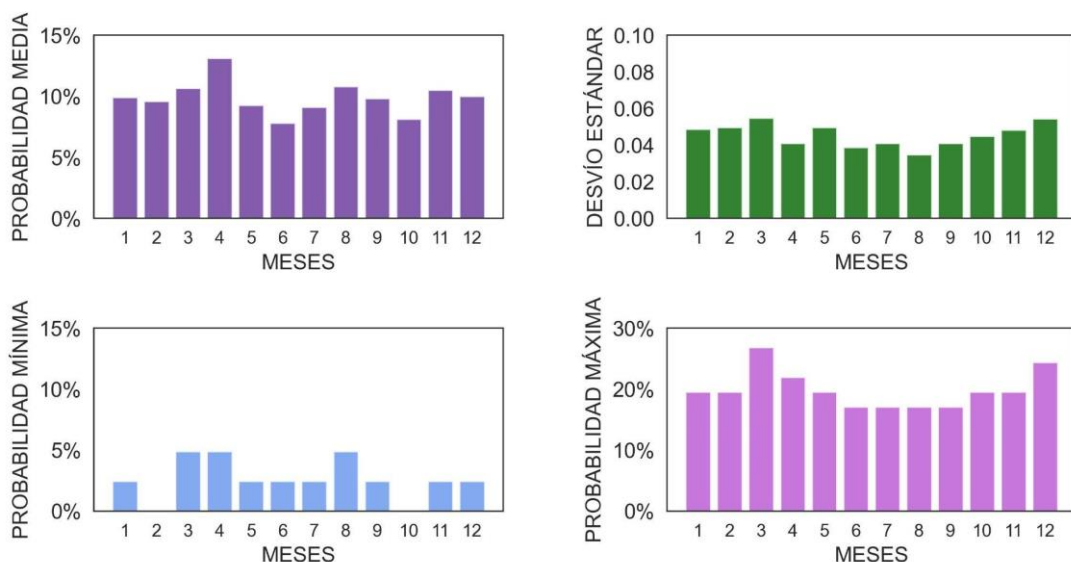
la probabilidad de registrar una hora con cielo despejado es mayor en las primeras y últimas horas del registro y decrece cerca del mediodía y las primeras horas de la tarde.



**Fig. 12:** Probabilidad de tener una hora con cielo despejado (cero octavos) en la estación O.C.B.A. según hora local y mes del año para el periodo 1981-2021.

Finalmente, se decidió tener en cuenta únicamente datos horarios comprendidos entre las 10hs y las 16hs para calcular la probabilidad de un día completo con cielo despejado, es decir, un día en el que se registre 0 octavos de manera sostenida en todas las horas del rango considerado, discriminado por mes del año (Fig. 13). En este caso, la figura muestra que el mes que, en promedio, presenta mayor probabilidad de un día completo de cielo despejado (de 10hs a 16hs) es abril, y el que presenta la menor probabilidad promedio es junio. Además, analizando en detalle los meses de noviembre a febrero, correspondientes a los meses con mayor irradiación solar en superficie, la probabilidad promedio de un día con cielo despejado de 10hs a 16hs se encuentra entre 9,9% y 10,5%. De estos meses, diciembre es el que presenta la probabilidad media más alta de un día entero con cielo despejado en dicho horario. También es importante tener en cuenta que, dentro del subgrupo de meses de noviembre a febrero, el mes de noviembre es el que presenta menor variabilidad en sus valores de probabilidad de registrar un día de cielo despejado de 10 a 16 hs.

## BUENOS AIRES



**Fig. 13:** Resumen estadístico de la probabilidad de registrar un día completo con cielo despejado según mes del año (considerando de 10hs a 16hs hora local) para el periodo 1981-2021.

## 4. ANÁLISIS DE AEROSOLES

En esta sección se realiza una caracterización de los aerosoles con el objetivo de conocer el comportamiento de la serie histórica de datos y obtener un valor representativo de este parámetro durante el periodo de noviembre-febrero, el cual es utilizado normalmente para campañas de calibración de radiómetros solares.

Los datos de aerosoles fueron obtenidos de la estación CEILAP-BA ubicada en Villa Martelli. En dicha estación se realiza un monitoreo continuo de los aerosoles utilizando un fotómetro solar de la marca CIMEL modelo CE-318. Este instrumento realiza mediciones espectrales del espesor óptico de aerosoles (AOD) en las longitudes de onda: 1640, 1020, 940, 870, 675, 500, 440, 380 y 340 nm. En Buenos Aires, en particular, se cuenta con mediciones desde 1999, por lo que es posible realizar una caracterización del AOD que permita conocer los valores para los diferentes momentos del año. Los datos de esta estación forman parte de la red

global AERONET lo que permite tener confianza en la calidad de los datos por sus criterios específicos de calibración y mantenimiento.

Debe tenerse en cuenta que el AOD se encuentra íntimamente relacionado con la transmitancia de la radiación solar a través de la atmósfera. Conocer el comportamiento de este parámetro es muy importante para poder asegurar una atmósfera limpia para realizar calibraciones confiables de radiómetros solares. Tal es así que normas internacionales establecen que la intercomparación entre pirheliómetros debe llevarse a cabo siempre y cuando la atmósfera presente un coeficiente de turbidez de Linke (TL) menor a 6. Debido a la dificultad o cálculos indirectos que se requieren para obtener el TL (Behar y otros, 2019; Chen y Li, 2022; Coulson, 1975), la comunidad científica se está orientando hacia el uso del AOD (en particular, el espesor óptico de aerosoles en la longitud 500 nm, AOD500) como parámetro de referencia para caracterizar la transmitancia en un día de cielo claro (Barrie y Wehrli, 2004). Específicamente, en el Centro Mundial de Radiación de Davos (PMOD-WRC) se utilizó un valor de AOD500 = 0.12 como umbral máximo para considerar mediciones durante el International Pyrheliometer Comparison XII de 2015 (IPC-XII). El personal del PMOD-WRC utilizó ese valor luego de un análisis histórico de sus mediciones, en donde obtuvieron que ese valor representaba un valor promedio para el período en el que se llevó adelante el evento.

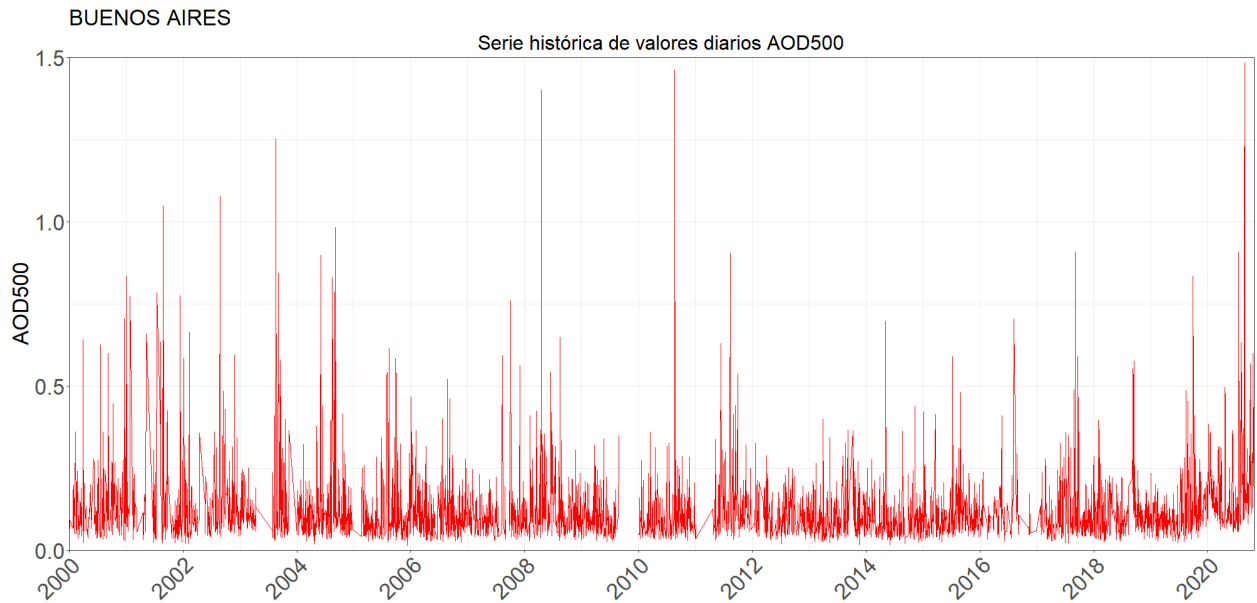
Para realizar el análisis presentado en este documento se descargaron los datos con promedios diarios de AOD en las diferentes longitudes de onda desde el año 2000 hasta octubre de 2020 para la estación de Villa Martelli en el link: [https://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/data\\_display\\_aod\\_v3?site=CEILAP-BA&nachal=2&level=3&place\\_code=10](https://aeronet.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/data_display_aod_v3?site=CEILAP-BA&nachal=2&level=3&place_code=10). Los datos descargados corresponden al nivel de procesamiento 2.0, que son los datos sin nubes luego de ser recalibrados e inspeccionados manualmente. De esta manera, se asegura la mayor calidad posible en los datos. El análisis realizado se basó en las mediciones de AOD500 disponibles hasta agosto de 2020.

En la Figura 14 se muestra la serie temporal completa de los promedios diarios de AOD500. En la misma se pueden observar picos máximos, algunos de los cuales podrían corresponder a intrusiones de particulado proveniente de incendios, erupciones volcánicas, quema de biomasa, etc. Algunas de las causas específicas de estos aumentos fueron evaluadas por Otero y otros (2012, 2020).

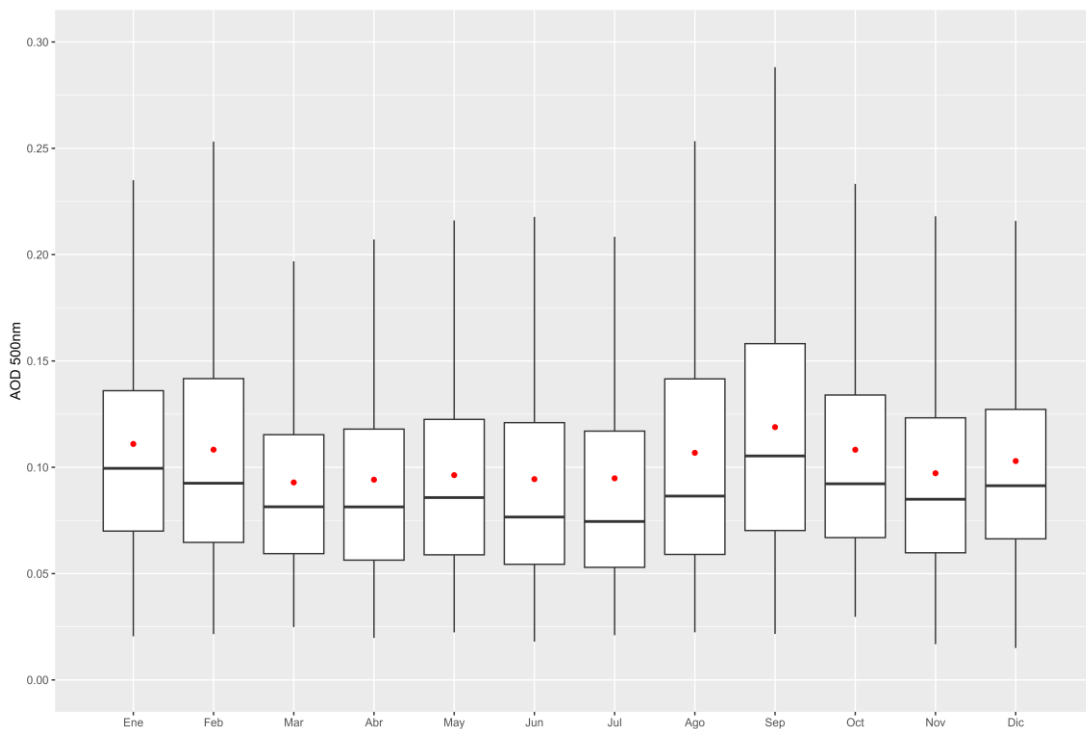
El promedio correspondiente a todos los valores disponibles de AOD500, independientemente del mes, evento específico, o cualquier tipo de filtro, fue de 0.1202.

Con la finalidad de analizar el comportamiento mensual del AOD500, en la Figura 15 se muestra el diagrama de caja de AOD500 en cada uno de los meses. Las cajas representan el 75% de los datos observados, siendo la línea inferior y superior el 25 y 75 % de los datos, respectivamente. La línea intermedia representa a la mediana, es decir el valor más probable, y los puntos rojos al promedio. Como se puede observar en la figura, la mediana en todos los meses se encuentra por debajo de 0.10, mientras que el resto de los meses, excepto enero, febrero, agosto, septiembre y octubre muestra el 75% de los datos por debajo de 0.125. Tanto en la media como la mediana, agosto y septiembre presentan los mayores valores de AOD500. Estos resultados son muy convenientes para la finalidad de calibrar radiómetros solares teniendo en cuenta que son meses con alto potencial radiativo. Interpretando estos resultados junto con los de radiación solar, se puede determinar que los meses con menos aerosoles pero con mayor incidencia solar es entre el mes de noviembre y diciembre.





**Fig. 14:** Serie histórica correspondiente a los promedios diarios de AOD500 obtenidos en la estación Villa Martelli.



**Fig. 15:** Promedios mensuales de AOD500 (barras azules) con una desviación estándar (barras naranjas) obtenidos en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires para cada mes y año disponible.

Finalmente, teniendo en cuenta que los meses con mayor irradiación solar para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires abarcan desde noviembre a febrero, se estimó el valor promedio de AOD500 para dicho período utilizando los valores promedios mensuales. Se obtuvo un valor de 0.11 con una desviación estándar de 0.1. En base a estos resultados, se establece un valor umbral de 0.12 para realizar las intercomparaciones de irradiación solar directa normal. Utilizando los datos diarios disponibles se obtuvo la cantidad relativa de días por mes en los que se supera el valor promedio establecido para el período, la cual se muestra en la Tabla I.

**Tabla I:** Cantidad relativa de días en los que el promedio diario supera el valor  $AOD500=0.12$

NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO
28.0%	29.6%	38.2%	35.4%

De la Tabla I y los resultados anteriormente obtenidos, se concluye, desde el punto de vista de aerosoles atmosféricos, la conveniencia de realizar intercomparaciones de pirheliómetros durante el mes de noviembre y diciembre, siendo menos conveniente durante enero y febrero. Por último, si bien durante marzo comienza el otoño y la radiación solar es menor que durante el verano, las condiciones de los aerosoles que se encuentran en la atmósfera presentan buenas condiciones también para realizar intercomparaciones de pirheliómetros, teniendo en cuenta que se presenta un promedio mensual de AOD500 de 0.10 y una cantidad menor que en el resto de los meses de variabilidad. La cantidad de días con  $AOD500 > 0.12$  es de 23.8%.

## 5. ANÁLISIS DE COLUMNA TOTAL DE OZONO

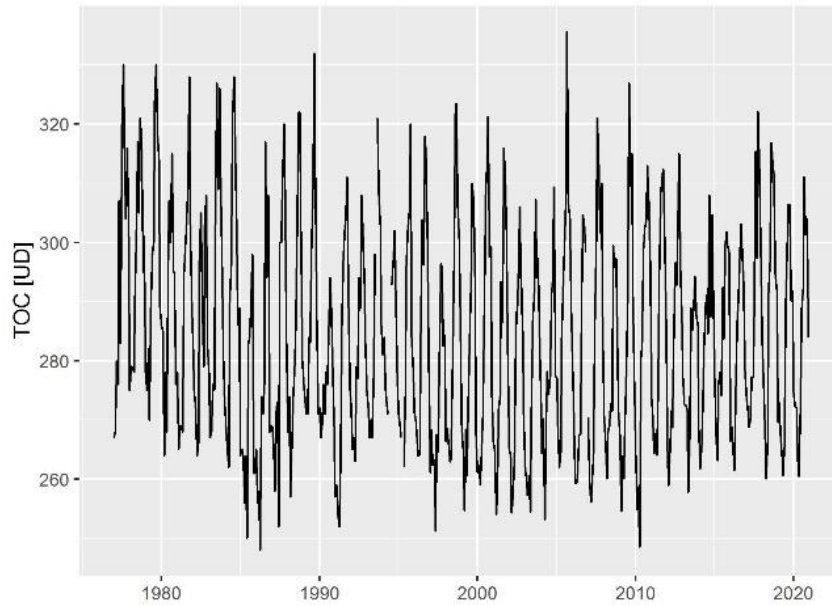
La medición de la Columna de Ozono Total (COT) en el OCBA se realiza diariamente con el Espectrofotómetro Dobson, el cual es calibrado con otro instrumento de referencia aproximadamente cada 5 años. Esta actividad inicia en octubre del año 1965, pero es hasta el año 1980 cuando los instrumentos a nivel global se homogenizan a través de un estándar internacional, de esta manera se obtiene su trazabilidad y las mediciones son comparables con otras redes.

En la figura 16 se muestran medias mensuales y se puede ver que, desde sus inicios hasta el 2020, se presenta un comportamiento cíclico, es decir, hay máximos y mínimos durante todos los años.

La medición de la COT es muy importante debido a que está íntimamente relacionado a la entrada de radiación ultravioleta de alta energía a la superficie, de tal manera que funciona como un filtro para la vida de los diversos ecosistemas. A una COT con valores más bajos, corresponde una intensidad mayor del Índice ultravioleta.

Como es sabido, la COT es afectada y reducida por los clorofluorocarbones (CFC's) que, mediante ciclos químicos catalíticos, destruye ozono en la estratosfera y su punto más intenso se presenta en los polos, principalmente en la Antártida, donde año tras año en la primavera austral se forma el agujero de ozono.

Es importante aclarar que cuando se habla de COT, se refiere al ozono que se encuentra en la capa alta de la atmósfera llamada estratosfera, aproximadamente a una altura de 20 a 50 km en el ecuador y 15 a 50 km en los polos. Más del 90% del ozono en la atmósfera se encuentra en la estratosfera, de tal manera que la Unidad Dobson (UD) equivale a 0,01 mm de espesor de capa en condiciones normales de presión y de temperatura (1 atm y 0 °C respectivamente).



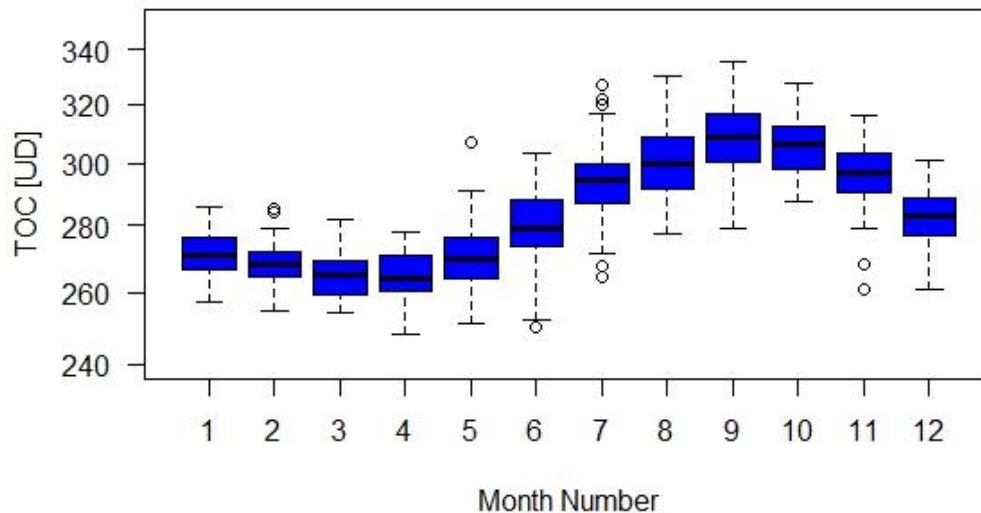
**Fig. 16:** Serie de tiempo para la COT en el OCBA para el periodo 1965 a 2020.

En la figura 17 se observa que, a partir del mes de mayo, los valores de COT se incrementan hasta alcanzar su máximo en el mes de septiembre y luego se produce una disminución en los meses siguientes. Este comportamiento es dominado principalmente por dos procesos; a) Dinámica, dominada por transporte desde el ecuador y acumulación en los meses de invierno debido a la poca radiación solar que promueve reacciones químicas destructoras de ozono. b) Químico, cuando entra la primavera austral se intensifica la radiación solar, lo que promueve la activación de mecanismos destructores de ozono a través de los CFC's y es por ese motivo que inicia la disminución de ozono.

En la Tabla II se muestra los valores por mes en UD, tanto la media, máximo, mínimo y la amplitud. Se puede ver que los dos meses con menos amplitud son marzo y abril con 30 y 36 UD, respectivamente y la dos de mayor amplitud son junio y julio con 76 y 62, respectivamente.

**Tabla II.** Estadística de los datos COT en el OCBA del periodo 1965 a 2020.

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
<b>MEDIA</b>	269	267	264	265	271	283	296	302	308	305	293	278
<b>MAX.</b>	286	297	282	278	307	326	327	330	332	328	316	304
<b>MIN.</b>	246	250	246	248	247	250	265	278	279	281	261	261
<b>AMP.</b>	40	47	36	30	60	76	62	52	53	47	55	43



**Fig. 17:** Ciclo interanual de la COT en el OCBA durante el periodo 1965 a 2020.

## 6. REFERENCIAS

- Barrie, L.A., Wehrl, C., 2004. GAW Report, 162. WMO/GAW Experts Workshop on a Global Surface-Based Network for Long Term Observations of Column Aerosol Optical Properties, WMO/TD. WMO, Geneva.
- Behar, O., Sbarbaro, D., Marzo, A., Moran, L., 2019. A simplified methodology to estimate solar irradiance and atmospheric turbidity from ambient temperature and relative humidity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 116, 109310. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109310>
- Chen, S., Li, M., 2022. Improved turbidity estimation from local meteorological data for solar resourcing and forecasting applications. *Renewable Energy* 189, 259–272. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.107>
- Coulson, K.L., 1975. CHAPTER THREE - Solar Radiation: Direct Component, in: Coulson, K.L. (Ed.), *Solar and Terrestrial Radiation*. Academic Press, pp. 39–83. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-192950-3.50007-3>
- Long, C.N., Shi, Y., 2008. An Automated Quality Assessment and Control Algorithm for Surface Radiation Measurements. *TOASCJ* 2, 23–37. <https://doi.org/10.2174/1874282300802010023>
- Luccini, E., Cede, A., Piacentini, R., Villanueva, C., Canziani, P., 2006. Ultraviolet climatology over Argentina. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111. <https://doi.org/10.1029/2005JD006580>
- Luccini E., F. Orte, J. Lell, F. Nollas, G. Carbajal, E. Wolfram, 2022: Una revisión integral a la paleta de colores del Índice UV. *Nota Técnica SMN 2022-127*.

- Nollas F., E. Luccini, G. Carbajal, F. Orte, E. Wolfram, G. Hülsen, J. Gröbner, 2018: Report of the Fifth Erythematous UV Radiometers Intercomparison (Buenos Aires, Argentina, 2018). GAW report No. 243. [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=20791#.XN6kuyBKgdV](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20791#.XN6kuyBKgdV).
- Nollas F., P. F. Orte, E. Luccini, E. Wolfram, M. M. Poggi, y G. Carbajal, 2020: Información sobre radiación solar UV en Argentina como base para distintas aplicaciones. Nota Técnica SMN 2020-83.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2020. Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Volumen 1. OMM- No. 8 Vol. 1, Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza.
- Otero, L.A., Casasola, F.I., Pereyra, C., Prieto, M., Brusca de Giorgio, S.A., Ristori, P.R., 2020. Capas de aerosoles de origen australiano sobre territorio argentino durante noviembre de 2019. Anales AFA Vol. 31 Nro. 1 (Abril 2020 - Julio 2020) 1-6. <https://doi.org/10.31527/analesafa.2020.31.1.1>
- Otero, L.A., Ristori, P.R., Pallotta, J.V., Pawelko, E.E., D'elia, R.L., Quel, E.J., 2012. Volcán Puyehue – Cordón Caulle: medición de las cenizas en Buenos Aires, Argentina, durante junio 2011. Pyroclastic Flow. VOL. 2, N° 2. [https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/81985/CONICET\\_Digital\\_Nro.74d062f7-3d0d-44fe-b87d-c427d3bcd0e9\\_A.pdf?sequence=5&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/81985/CONICET_Digital_Nro.74d062f7-3d0d-44fe-b87d-c427d3bcd0e9_A.pdf?sequence=5&isAllowed=y)
- World Health Organization, 2002. Índice UV solar mundial: guía práctica (No. WHO/SDE/OEH/02.2). Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42633>

## Instrucciones para publicar Notas Técnicas

En el SMN existieron y existen una importante cantidad de publicaciones periódicas dedicadas a informar a usuarios distintos aspectos de las actividades del servicio, en general asociados con observaciones o pronósticos meteorológicos.

Existe no obstante abundante material escrito de carácter técnico que no tiene un vehículo de comunicación adecuado ya que no se acomoda a las publicaciones arriba mencionadas ni es apropiado para revistas científicas. Este material, sin embargo, es fundamental para plasmar las actividades y desarrollos de la institución y que esta dé cuenta de su producción técnica. Es importante que las actividades de la institución puedan ser comprendidas con solo acercarse a sus diferentes publicaciones y la longitud de los documentos no debe ser un limitante.

Los interesados en transformar sus trabajos en Notas Técnicas pueden comunicarse con Ramón de Elía ([rdelia@smn.gov.ar](mailto:rdelia@smn.gov.ar)), Luciano Vidal ([lvidal@smn.gov.ar](mailto:lvidal@smn.gov.ar)) o Martin Rugna ([mrugna@smn.gov.ar](mailto:mrugna@smn.gov.ar)) de la Dirección Nacional de Ciencia e Innovación en Productos y Servicios, para obtener la plantilla WORD que sirve de modelo para la escritura de la Nota Técnica. Una vez armado el documento deben enviarlo en formato PDF a los correos antes mencionados. Antes del envío final los autores deben informarse del número de serie que le corresponde a su trabajo e incluirlo en la portada.

La versión digital de la Nota Técnica quedará publicada en el Repositorio Digital del Servicio Meteorológico Nacional. Cualquier consulta o duda al respecto, comunicarse con Melisa Acevedo ([macevedo@smn.gov.ar](mailto:macevedo@smn.gov.ar)).