

Propuesta preliminar de control de calidad de datos de radiación solar global provenientes de estaciones meteorológicas automáticas

Nota Técnica SMN 2022-119

**Fernando Nollas¹, Facundo Orte^{2,3}, Julián Lell¹, Gonzalo Diaz⁴
y Elian Wolfram^{3,5}**

¹ Dirección Central de Monitoreo del Clima. Servicio Meteorológico Nacional, Argentina

² Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la Defensa. CITEDEF, Argentina.

³ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. CONICET.

⁴ Dirección de Servicios Sectoriales. Servicio Meteorológico Nacional, Argentina

⁵ Dirección de Redes de Observación. Servicio Meteorológico Nacional, Argentina.



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

En el presente trabajo se presenta una metodología preliminar para realizar un control de calidad de datos de irradiancia solar global horizontal proveniente de estaciones automáticas operadas tanto por Servicio Meteorológico Nacional como por otras Instituciones en Argentina. La metodología se basa en la implementación de filtros que tienen diferentes criterios, algunos de los cuales han sido ampliamente estudiados y validados en la literatura científica, mientras que otros han sido desarrollados en base a la detección de diferentes problemáticas observadas en las series de datos disponibles. Algunos de los criterios han sido contrastados contra mediciones de alta calidad obtenidas por el Servicio Meteorológico Nacional utilizando sensores termoelectricos con trazabilidad y buen mantenimiento.

La metodología presentada es preliminar y no asegura una confiabilidad total a nivel científico dado que muchas de las estaciones no presentan un protocolo de mantenimiento estándar ni calibración frecuente. Sin embargo, y debido a la dificultad de conseguir datos de irradiancia solar medida en superficie, los filtros presentados en esta metodología permiten realizar un diagnóstico preliminar de la calidad de la información obtenida por las estaciones, poniendo a disposición del usuario información sobre la calidad de las bases de datos analizadas para la toma de decisiones en cuanto a su utilización. Se torna necesario continuar estudiando y mejorando los filtros propuestos en la presente nota técnica, así como también avanzar en el desarrollo de nuevos filtros con la finalidad de dar una mayor confiabilidad a los datos de irradiancia solar medidos en estaciones meteorológicas automáticas.

Abstract

In the present work, a preliminary methodology is presented to perform a quality control of horizontal global solar irradiance data from automatic stations operated by both the National Meteorological Service and other Institutions in Argentina. The methodology is based on the implementation of filters that have different criteria, some of which have been widely studied and validated in the scientific literature, while others have been developed based on the detection of different problems observed in the available data series. Some of the criteria have been contrasted against high quality measurements obtained by the National Meteorological Service using thermoelectric sensors with traceability and good maintenance.

The methodology presented is preliminary and does not ensure total reliability at a scientific level since many of the stations do not present a standard maintenance protocol or frequent calibration. However, and due to the difficulty of obtaining data on solar irradiance measured on the surface, the filters presented in this methodology allow a preliminary diagnosis of the quality of the information obtained by the stations to be made by making information on the quality of the stations available to the user. It becomes necessary to continue studying and improving the filters proposed in this technical note as well as developing new filters in order to achieve greater reliability to the solar irradiance data measured in automatic meteorological stations.

Palabras clave: Filtros, calidad, estaciones meteorológicas automáticas, radiación solar.

Citar como:

Nollas F., F. Orte, J. Lell, G. Diaz, E. Wolfram, 2022: Propuesta preliminar de control de calidad de datos de radiación solar global provenientes de estaciones meteorológicas automáticas. Nota Técnica SMN 2022-119.

1. INTRODUCCIÓN

El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) tiene como misión brindar información y pronósticos meteorológicos, perspectivas climáticas y alertas en su área de incumbencia, basados en el monitoreo continuo de la atmósfera y para ello opera una red de 125 estaciones en las cuales se obtienen parámetros meteorológicos convencionales tales como presión, humedad relativa, temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo, entre otras. Estas estaciones de superficie convencionales disponen de personal humano capacitado para realizar este tipo de mediciones y observaciones desde superficie, las cuales se realizan, típicamente, cada 1 hora durante las 24 horas, los 365 días del año.

Por otro lado, dependiendo del uso que se le vaya a dar a los datos, algunas personas o instituciones optan por la implementación de estaciones meteorológicas automáticas (EMAs). Las EMAs se han difundido considerablemente entre los usuarios de información meteorológica debido a la automatización que proporcionan en la adquisición de datos sin la necesidad de la intervención manual del personal. Las EMAs cuentan con software asociado que permite adaptar la frecuencia de adquisición de la medición a la necesidad del usuario.

Una desventaja asociada a las mediciones automatizadas es, en caso de no utilizarse sensores debidamente calibrados y mantenidos, la generación de grandes volúmenes de datos de baja confiabilidad. Además, algunas estaciones son instaladas en sitios de baja accesibilidad (como campos o torres en altura) y son configuradas de manera tal que las mediciones son acumuladas hasta el momento en que un operador realiza la descarga de los datos luego de transcurrido un considerable intervalo temporal. Las fallas que ocurran en la adquisición de datos en este tipo de estaciones pueden también ocasionar la generación de datos espurios con la consecuente pérdida de una gran parte de la información, situación que solo resulta evidente al analizar los datos.

El SMN cuenta con una red de EMAs distribuidas en el país en las cuales se obtienen mediciones de varios parámetros atmosféricos, sin embargo, la suma de estaciones convencionales y EMAs pertenecientes al SMN no alcanza para cubrir todo el territorio argentino. Es por ello que, paralelamente, el SMN ha desarrollado convenios con distintas Instituciones gubernamentales y privadas con la finalidad de recibir y concentrar datos de las EMAs que estos operan en distintas partes del país. Esta posibilidad de contar con mayor información y extender el área de cobertura de las mediciones impacta de manera directa en los resultados de los modelos numéricos de pronóstico del tiempo y en la posibilidad de brindar productos de mayor calidad a los usuarios de los distintos servicios sectoriales del país. A la fecha existen algunas redes automáticas de medición que aportan datos al SMN y pertenecen a instituciones como la Bolsa de cereales de Córdoba, Bolsa de cereales de Entre Ríos, Aysa, INTA y Universidad de La Punta. Además, se cuenta con la incorporación de datos de redes de EMAs instaladas debido a proyectos de investigación y de formación, como por ejemplo, SINARAME y SOBA.

Los parámetros meteorológicos para los cuales, típicamente, vienen preparadas las EMAs son: temperatura, humedad relativa, presión, intensidad y dirección del viento y precipitación. Sin embargo, algunas EMAs también incluyen sensores de irradiancia solar global horizontal (GHI) con distintos principios de funcionamiento. La importancia de medir este parámetro radica en que la energía solar es el principal motor de procesos naturales, así como de distintos aprovechamientos energéticos utilizados en diferentes disciplinas. Asimismo, conseguir datos confiables medidos en superficie es realmente un desafío debido a la dificultad que genera adquirir, mantener y calibrar los sensores que los obtienen. En Argentina existen actualmente muy pocas redes de medición de radiación solar debido al alto costo y esfuerzos que ello

requiere. Esto pone de manifiesto la importancia de los datos de GHI obtenidos por las distintas EMAs distribuidas en el país y sus posibles usos.

Al realizarse mediciones automáticas, puede ocurrir que no se efectúe el mantenimiento adecuado a los sensores y esto representa un inconveniente principalmente al analizar la información de radiación solar, dado que estos datos son los más proclives a incorporar errores (Moradi, 2009). El error en la medición de GHI en superficie se asocia principalmente con las incertezas y errores en los sensores que la miden (Younes y otros, 2005), pero además se identifican errores involucrados con la operación de los mismos (Shi y otros, 2008; Younes y otros, 2005) como pueden ser una mala configuración del *datalogger*, nivelación incorrecta del sensor, sombras indeseadas o reflexiones causadas por construcciones cercanas, gotas de agua o nieve sobre la cúpula del sensor, entre otras.

Debido a las falsas conclusiones a las que se podría arribar utilizando series de datos con mediciones erróneas, se vuelve imprescindible contar con una metodología de control de calidad de los datos a través de la implementación de filtros, los cuales deben estar basados en criterios adecuados a este tipo de datos. Debe tenerse en cuenta que, de acuerdo a la frecuencia de adquisición de los datos y la latitud en la que se encuentre una EMA, se pueden presentar diferentes situaciones que pueden hacer variar los datos de GHI por efectos transitorios como nubosidad (Gueymard, 2017) u otros efectos meteorológicos (Yabra y otros, 2021).

En la presente nota técnica se propone una metodología preliminar basada en filtros de aplicación automática, que permite hacer un análisis inicial de la calidad de los datos de GHI a partir de datos obtenidos por EMAs dentro del país. Los criterios utilizados para desarrollar los filtros propuestos en esta metodología contemplan los posibles efectos esperables en función de la frecuencia de adquisición del dato y diferentes latitudes. Cabe aclarar que esta metodología fue desarrollada con la motivación de disponer de una serie de filtros que pudieran implementarse de manera automática, eliminando la necesidad de realizar análisis gráficos por parte de operadores en busca de anomalías. Los filtros propuestos se presentan como una combinación de filtros establecidos en la literatura científica (Long y Dutton, 2002; Long y Shi, 2008; Younes y otros, 2005, Journée y Bertrand, 2011) en conjunto con filtros obtenidos empíricamente en base a mediciones erróneas detectadas en las EMAs analizadas. Otra de las motivaciones para desarrollar esta metodología fue la necesidad de disponer de filtros que permitieran realizar un análisis de los datos de radiación solar proveniente de EMAs en tiempo real y también en tiempo diferido, dependiendo de la utilidad. Esto no solo permite hacer un análisis básico de los datos en tiempo real, sino que admite la posibilidad de establecer jerarquía en los filtros de acuerdo a la severidad del error detectado, dejando en manos del usuario la decisión de qué datos utilizar.

2. METODOLOGÍAS DE CONTROL DE CALIDAD

El proceso de filtrado se denomina Control de Calidad (QC, por sus siglas en inglés) y, típicamente, el resultado de la aplicación de los filtros se aprecia en las banderas o *flags* que acompañan a los datos luego de aplicada la metodología de QC.

La mayoría de los filtros establecidos en la literatura utilizan todas las componentes de radiación solar. Estas son: irradiancia solar directa normal (DNI, por sus siglas en inglés), irradiancia solar difusa horizontal (DHI, por sus siglas en inglés) y GHI.

Uno de los QC más usados actualmente para datos de radiación solar es el de la Baseline Surface Radiation Network (BSRN) (Long y Dutton, 2002; Long y Shi, 2008). El mismo está basado en 4 criterios: valores

físicamente posibles, valores extremadamente raros, comparación entre las componentes de radiación (DNI, GHI y DHI) y detector de *tracker-off*.

Existen criterios que consideran otras variables. En caso de contar con estaciones de medición cercanas a la que se desea analizar es posible aplicar *tests* de consistencia espacial (Miras-Avalos y otros, 2012; Journée y Bertrand, 2011; Laiti y otros, 2014). La idea detrás de estos *tests* consiste en estimar la radiación solar en la estación de interés en base a la radiación medida en estaciones cercanas estableciendo un umbral de aceptación a la diferencia entre ambos valores.

Geuder y otros (2015) y Laiti y otros (2014) utilizaron el *step test* propuesto por Journée y Bertrand (2011) donde se establece la diferencia máxima que puede haber entre dos mediciones consecutivas de irradiancia utilizando como parámetro de comparación la radiación solar extraterrestre. Por otra parte, Shafer y otros (2000) y WMO (2007) establecieron que la diferencia máxima entre dos mediciones consecutivas minutas de GHI podía ser de hasta 800 W/m², valor utilizado también por Lemos y otros (2017) y Rojas y otros (2018).

Cuando se cuenta con las 3 componentes de radiación solar, un control de consistencia puede ser llevado a cabo (Long y Shi, 2008; Journée y Bertrand, 2011; Pashiardis y Kalogirou, 2016; Perez-Astudillo y otros, 2018). Este test tiene en cuenta que las tres componentes de la radiación solar se relacionan según la eq. 1 y por lo tanto establece un valor de aceptación a la diferencia que existe entre la GHI medida directamente contra la estimada utilizando la DNI y DHI.

$$\text{GHI} = \text{DNI} \cdot \cos(\text{SZA}) + \text{DHI} \quad (1)$$

donde SZA corresponde al ángulo solar cenital.

Otro criterio ampliamente utilizado para detectar datos erróneos se basa en relaciones K_t - K_d (Rojas y otros, 2019; Younes y otros, 2005; Maxwell y otros, 1993; Ruiz-Arias y otros, 2010) donde K_t representa el índice de claridad y K_d la fracción difusa. Estos parámetros se obtienen según las ecuaciones 2 y 3 donde I_0 representa la irradiancia extraterrestre normal a la superficie.

$$K_t = \text{GHI} / I_0 \cdot \cos(\text{SZA}) \quad (2)$$

$$K_d = \text{DHI} / \text{GHI} \quad (3)$$

Algunos autores utilizaron modelos de cielo claro para establecer valores límite (Geuder y otros, 2015, Geiger y otros, 2002, Younes y otros, 2005) así como también se han establecido criterios que utilizan la cantidad de horas de sol para detectar valores sospechosos o erróneos (Moradi, 2009; Journée y Bertrand, 2011).

Younes y otros (2005) desarrollaron un método de control de calidad en el que utilizaron el modelo de cielo claro utilizado en la preparación del Atlas de radiación solar europeo (Rigollier y otros, 2000) para establecer límites a la irradiación horaria tanto global como difusa e implementaron un análisis estadístico basado en el uso de curvas envolventes creadas a partir de valores de índice de claridad y fracción difusa.

Utilizando productos de datos satelitales y de reanálisis, Urraca y otros (2017) propusieron un método de QC basado en un análisis estadístico de las desviaciones entre la irradiancia diaria medida en superficie y las estimaciones de los productos para 313 estaciones de superficie en Europa.

Entre los trabajos en los que se desarrollaron QC para analizar específicamente datos registrados con una frecuencia sub-horaria se pueden citar Geuder y otros (2015), Perez-Astudillo y otros (2018) y Journée y Bertrand (2011) así como las metodologías utilizadas por la BSRN y propuestas por Long y Shi (2008). Se

diferencia la frecuencia de adquisición sub-horaria del resto ya que debe tenerse cuidado al aplicar una metodología desarrollada para una determinada frecuencia temporal en datos con otra frecuencia, principalmente a la hora de trabajar con datos minutales o con menor frecuencia porque a esa resolución temporal se presentan efectos transitorios como aumentos o disminuciones repentinas de la irradiancia solar (Gueymard, 2017). Journée y Bertrand (2011) establecieron una serie de filtros para datos con frecuencia 10-min y 30-min en base a múltiples criterios que consideraron relaciones entre las componentes, así como filtros específicos para los parámetros de manera independiente. Por otra parte, en el resto de los trabajos con frecuencia sub-horaria se desarrollaron filtros para datos con alta resolución temporal (1-min) teniendo en cuenta principalmente valores físicamente posibles y relaciones de consistencia entre las componentes de radiación, entre otros. Además de utilizar los criterios propuestos por Long y Shi (2008), Geuder y otros (2015) y Perez-Astudillo y otros (2018) establecieron valores límite haciendo uso de modelos de cielo claro. Un punto en común en todas las metodologías de QC desarrolladas para datos minutales es que, fuera de los valores físicamente posibles propuestos por Long y Shi (2008), la mayoría de los filtros y criterios propuestos requieren conocer las tres componentes de la radiación solar y son insuficientes para asegurar la calidad de los datos de GHI y DHI en ausencia de la DNI. Asimismo, son muy pocos los trabajos en los que se establecieron filtros para valores GHI capaces de identificar valores erróneos independientemente de algún otro parámetro.

Dado que las EMAs obtienen únicamente valores de GHI, los criterios utilizados para establecer los filtros aplicados en este trabajo consideran únicamente valores de este parámetro. Una de las principales ventajas de la metodología de QC propuesta en la presente nota es que los filtros utilizados para detectar valores erróneos de GHI no requieren la medición de ningún otro parámetro ni el uso de bases de datos externas a menos que se desee hacer uso de modelos de cielo claro que dependan de múltiples parámetros (Sun y otros, 2019).

3. DATOS UTILIZADOS

Los sensores de radiación solar que poseen las EMAs analizadas en la presente nota son variados. Algunas poseen piranómetros termoeléctricos como el Hukseflux SP02 y Kipp & Zonen CMP6, mientras que otras utilizan sensores con principio de funcionamiento fotovoltaico como los de la marca LICOR.

Por otro lado, considerando que muchas de las EMAs pertenecen a redes de terceros, debe tenerse en cuenta que cada institución tiene la potestad de configurar su *datalogger* de la manera que considera adecuada. En el caso particular de las EMAs analizadas en el presente trabajo, los *dataloggers* fueron configurados por las distintas Instituciones para que adquirieran datos con intervalos temporales que van desde 5 minutos hasta 60 minutos, pasando por 10-min, 15-min y 30-min. El intervalo temporal más utilizado para la adquisición de datos es de 10-min. Asimismo, algunos *dataloggers* son configurados de manera tal de que no solo adquieren el dato correspondiente de GHI sino también su valor máximo y mínimo para el intervalo considerado. Si bien es esperable que los valores nocturnos de GHI sean iguales a 0 o incluso menores por el principio de funcionamiento térmico de los piranómetros (Sanchez y otros, 2016), debe tenerse en cuenta que las distintas instituciones no presentan el mismo adquisidor de datos, por lo que es posible que en la configuración del *datalogger* se genere un valor de *offset* de manera que, en horas nocturnas, se presenten valores positivos constantes o levemente variables pero con la particularidad de ser pequeños (por debajo de 2 W/m²). Esta situación es contemplada en el presente estudio dentro de valores razonables como se verá en la sección 4.

Debido a la posibilidad de efectos transitorios causados por la nubosidad, es recomendable que el dato representativo a adquirir, independientemente de la frecuencia de muestreo, sea al promedio de las mediciones obtenidas en cada muestreo (típicamente 1 segundo). Esto se aclara porque en algunas de las

series de datos el valor correspondiente de GHI se corresponde con una medición instantánea en el intervalo de medición. Es importante, por ello, conocer si la medida corresponde a un valor instantáneo o un promedio obtenido durante el tiempo de adquisición, de manera que los cálculos de SZA se correspondan con la hora representativa de esa medición. Teniendo en cuenta posibles efectos transitorios (Gueymard, 2017), es altamente recomendable que las mediciones obtenidas (independientemente del período de adquisición) se correspondan con los promedios representativos de dicho período y no con mediciones instantáneas.

Debido a que el SMN no tiene injerencia sobre las redes de terceros, en algunas circunstancias no se cuenta con los metadatos correspondientes a las mediciones. Esto quiere decir que no se tiene conocimiento sobre el mantenimiento del instrumental o su calibración. En el caso particular de los datos de radiación solar se desconoce la frecuencia con la cual se controla la nivelación de los sensores, la frecuencia con la cual se realiza la limpieza de su cúpula y se cambia el desecante interno (en caso de poseer), si se realiza un control de obstrucciones que puedan generar sombra sobre el sensor o si un equipo se calibra y cambia su constante de calibración, entre otras actividades de mantenimiento. Teniendo esto en cuenta, es importante aclarar que los filtros propuestos en el presente trabajo no aseguran una calidad óptima (a nivel científico) de los datos que los pasen, sino que representan un primer análisis de calidad de datos provenientes de sensores de los que se desconoce su mantenimiento. La utilidad de este tipo de datos se deja a criterio de los usuarios para aplicaciones en las que se permita cierto margen de tolerancia en las incertidumbres. Esto implica que los usuarios que hagan uso de esta información deben estar al tanto de las limitaciones que estos datos poseen.

Los usuarios finales de estos datos (estudiantes, investigadores, empresas, etc) pueden incorporar, además de la presente metodología, otro tipo de filtros en sus análisis tales como comparación contra modelos de cielo claro con parámetros locales provenientes de satélite o reanálisis, análisis de sombras, heliofanía, etc.

La Fig. 1 muestra la ubicación geográfica de los sitios pertenecientes a otras instituciones cuyas EMAs se encuentran integradas al SMN.

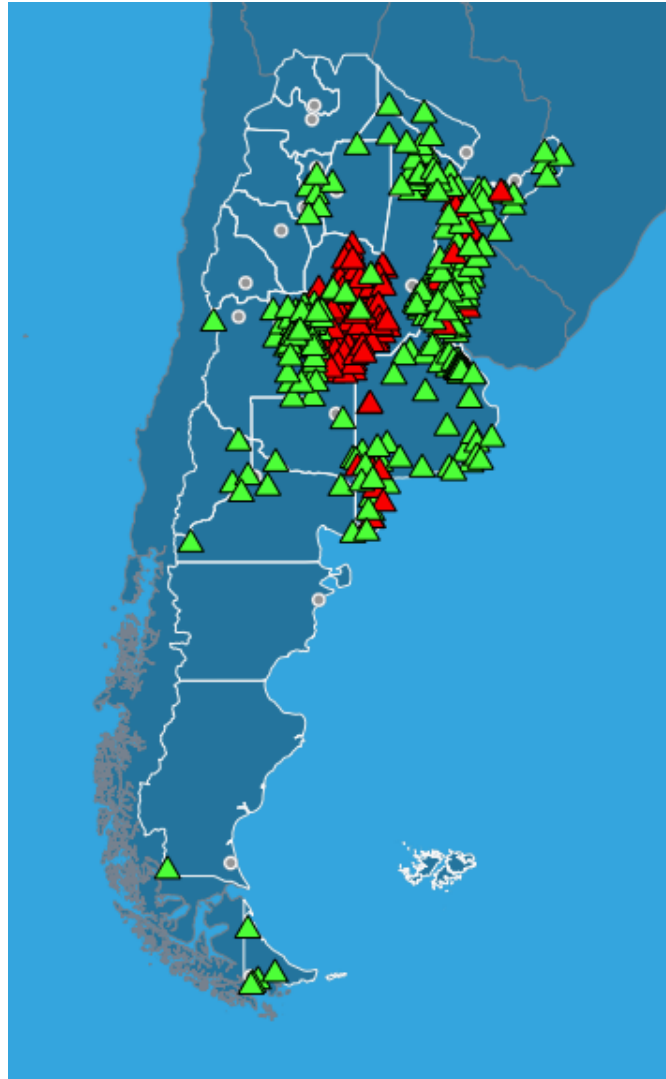


Figura 1. Ubicación geográfica de las EMAs que comparten datos a la red interna del SMN. Los triángulos verdes corresponden con EMAs operativas y enviando datos mientras que los rojos con EMAs que no se encuentran enviando datos. Fuente: SMN

4. METODOLOGÍA DE FILTRADO

En esta sección se presentan los filtros que aplican, tanto a mediciones obtenidas con la frecuencia máxima de registro x-min (entendiendo estos como los disponibles para la máxima frecuencia de adquisición definida de cada sitio que puede ser 5min, 10min, 15min, etc.) como a filtros que pueden aplicarse en tiempo diferido. Los filtros aplicados a las mediciones x-min pueden ser utilizados en tiempo real si fuera necesario, mientras que los filtros que se aplican en tiempo diferido se separan en filtros aplicables sobre valores diarios (y por lo tanto aplican a todos los valores de ese día) y en filtros que tienen en cuenta consideraciones mensuales.

Cabe aclarar que la metodología propuesta en la presente nota es preliminar y no contempla errores sistemáticos detectables de manera manual en los datos, sin embargo, permite realizar una evaluación inicial y automática tanto en tiempo real como en tiempo diferido (de acuerdo a la necesidad) de los datos obtenidos en superficie. Algunos de los filtros se encuentran ampliamente difundidos en la literatura científica mientras que otros han surgido del análisis detallado de los datos provenientes de las EMAs presentadas en la sección 3. Un resumen de todos los filtros presentados en la presente metodología, su correspondiente *flag*, latitudes y frecuencia temporal en las que se aplican se muestra en la Tabla 1. Los datos que pasan todos los filtros tienen asociado el *flag* 0.

Tabla 1. Descripción de los filtros utilizados en la presente metodología junto con su criterio, *flag* asociado, latitud para la que se aplica y tiempo de adquisición del dato para el cual se aplica. *S* representa la corrección en la distancia Sol-Tierra y E_{cs} la constante solar establecida en 1361.1 W/m^2 (Gueymard, 2018).

| <i>Filtro</i> | <i>Criterio</i> | <i>Flag asociado</i> | <i>Latitud de aplicación</i> | <i>Tiempo de adquisición</i> |
|---------------|--|----------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1 | $GHI > GHI_{cs}$ | 1 | Todas | Todos |
| | $GHI > 1.5 * S * E_{sc} * (\cos(SZA))^{1.2} + 100$ W/m ² | 2 | Todas | ≤ 10 min |
| | $GHI > 10 \times \cos(SZA)$ | 2 | Todas | >10 min |
| 2 | $K_t < (80 - SZA) * 10^{-4}$ si $SZA \leq 80^\circ$ $GHI \leq 0$ si $SZA > 80^\circ$ | 1 | Latitud > -60° | Todos |
| 3 | $ K_t(t) - K_t(t-1) > 0.75$ si $SZA < 88^\circ$ | 1 | Todas | Todos |
| 4 | $GHI(t) = GHI(t+1)$ | 1 | Todas | Todos |
| 5 | 40% del día con el <i>flag</i> 1 o 2 | 3 | Todas | Todos |
| 6.1 | desviación estándar diurna < 10 W/m ² | 4 | Latitud > -60° | Todos |
| 6.2 | desviación estándar nocturna > 2 w/m ² | 4 | Todas | Todos |
| 6.3 | <i>offset</i> nocturno < - 4 W/m ² <i>offset</i> nocturno > 2 W/m ² | 4 | Todas | Todos |
| 7 | Cantidad de datos diurnos < 80% de cantidad teórica de datos diurnos | 5 | Todas | Todos |
| 8 | Mas de 10 días del mes marcados con el <i>flag</i> 3 o 4 | 6 | Todas | Todos |

4.1 FILTROS APLICABLES A MEDICIONES DE MÁXIMA FRECUENCIA

En esta sección se presentan 4 filtros que pueden ser aplicados a las mediciones para la máxima frecuencia de adquisición definida de cada sitio de GHI. Estos filtros deben ser considerados una vez aplicada la condición establecida en la ecuación 1, la cual no fue establecida como un filtro debido a que no todos los sitios en donde se mide GHI adquieren también los valores máximos y mínimos de irradiancia en el intervalo

de tiempo considerado. En caso de contar con la GHI máxima (GHI_{max}) y la GHI mínima (GHI_{min}) para el intervalo entonces se debe cumplir la condición expresada en la ecuación 4.

$$GHI_{min} \leq GHI \leq GHI_{max} \quad (4)$$

Filtro 1 (Valores máximos)

El objetivo principal de este filtro es establecer los máximos valores esperables en cada sitio de medición. Para ello se proponen diferentes criterios en función de la frecuencia de muestreo, teniendo en cuenta la posibilidad de fenómenos transitorios a medida que la frecuencia de muestreo aumenta (Gueymard, 2017). Asimismo, también se hace una diferenciación entre valores sospechosos y valores inválidos, considerando que estos últimos deben directamente ser descartados por el usuario de los datos debido a que su uso seguramente conlleve a resultados poco confiables.

Uno de los criterios más utilizados para establecer los valores máximos alcanzables en la medición de GHI está dado por el uso de un modelo de cielo claro, condición que asume la ausencia de nubes. Es de esperar que en un día de cielo claro la irradiancia sea mayor que en un día con nubosidad, a excepción de efectos transitorios como *cloud enhancement event* (CEE, por sus siglas en inglés, Gueymard, 2017).

En este trabajo se optó por utilizar el modelo de cielo claro detallado en Rigollier y otros (2000), el cual fue utilizado para obtener el Atlas de Radiación Solar de Europa (ESRA). La elección de este modelo empírico se basa en su sencillez, dado que depende de un solo parámetro, la turbidez de Linke establecida para una aeromasa de 2 (TL2), relacionada con la transparencia atmosférica. Este modelo ha sido utilizado por varios autores (Younes y otros, 2005; Journeé y Bertrand, 2011; Geiger y otros, 2002; Ruiz-Arias y otros, 2010; Moradi, 2009, Rajchick, 2012) para estimar la GHI máxima esperable para un determinado sitio, diferenciándose entre sí por los valores TL2 utilizados. Journeé y Bertrand (2011) propusieron el uso de TL2=1 con la idea de modelar una atmósfera completamente limpia. Por otra parte, Raichijk (2012) utilizó un valor constante de TL2=2 para la ciudad de Lujan mientras que Ruiz-Arias y otros (2010) fijaron un valor de TL2=2.5 para las estaciones utilizadas en su trabajo. En un análisis previo se observó que al utilizar un valor de TL2=1 se obtienen valores de GHI_{cs} mayores a la irradiancia extraterrestre, por lo que se decidió no utilizar este valor. Asimismo, se encontró que valores fijos de $TL2 \geq 2$ simulaban condiciones no coincidentes con la turbidez real en muchos de los sitios los cual conllevaba a que el modelo estimara valores más bajos de lo esperado para el sitio en determinadas épocas del año. Por ello, en este trabajo se utilizó un valor fijo de 1.5 para el TL2 para todos los sitios analizados. La ventaja de utilizar un valor fijo radica en la posibilidad de poder utilizar este filtro en tiempo real dado que no se necesitan otros parámetros de entrada procedentes de otras fuentes. La desventaja es la baja representatividad geográfica y temporal de un valor fijo.

Se establece así que, si una medición de GHI presenta un valor superior a GHI_{cs} para ese mismo momento, el dato se considera "sospechoso" y se marca con el *flag* 1, y esto es válido para valores obtenidos con cualquier frecuencia temporal y todas las latitudes.

En el caso en que el análisis de calidad de los datos se realice en tiempo diferido, una mejora a este filtro sería la utilización de algún modelo de cielo claro con mejor desempeño como se comenta en la sección 5.

Por otro lado, para establecer el valor límite a partir del cual una medición debe ser marcada como inválida, la consideración es distinta en función del tiempo de adquisición de los datos. Cuando el tiempo de adquisición es menor o igual a 10 minutos se hace uso de los valores extremadamente raros establecidos en los controles de calidad que aplica la BSRN (Long & Dutton, 2002; Long & Shi, 2008); esto es debido a que se contempla la posibilidad de efectos transitorios como CEE. Si una medición de GHI presenta un valor superior a los

valores extremadamente raros para ese mismo momento, entonces dicha línea se marca como inválida con el *flag 2*.

Para el caso de tiempos de adquisición mayores a 10 minutos se debe tener en cuenta que, cuando el tiempo de adquisición aumenta, es esperable que los fenómenos transitorios sean atenuados al realizarse un promedio temporal en el mismo *datalogger*. Es por esto que en este trabajo se consideraron inválidos los valores que fueron mayores a la irradiancia solar horizontal extraterrestre promediada para el mismo periodo de adquisición.

Filtro 2 (Valores mínimos)

El filtro 2 establece, de manera empírica, los valores mínimos esperables de GHI en condiciones de cielo muy cubierto en función de SZA (ver Tabla 1). Si bien el criterio fue introducido para valores 10-min y 30-min (Journée y Bertrand, 2011), se encontró que es capaz de identificar valores sospechosamente bajos para las frecuencias consideradas en el presente trabajo, lo cual puede ser producto de impurezas sobre el domo de los sensores (naturales o antropogénicas), obstáculos en el horizonte de los sensores, malfuncionamiento del sensor, etc. Este filtro tiene la consideración de que, en sitios antárticos, por ejemplo, se presentan condiciones meteorológicas muy cambiantes en donde se pueden presentar muchos días con niebla y a su vez niveles de radiación muy bajos, por lo que para latitudes menores a -60° , este filtro se reduce a que $GHI > 0$ cuando $SZA < 90^\circ$. Los valores que no pasan este filtro se marcan como SOSPECHOSOS con el *flag 1*.

Filtro 3 (Diferencia entre valores consecutivos)

El filtro 3 tiene por acción determinar valores que cambien drásticamente y fuera de lo esperado entre registros consecutivos. Fue planteado por Journée y Bertrand (2011) para valores 10-minutales y 30-minutales y se basa en diferencias del índice de claridad en vez de valores absolutos de GHI. Este filtro detecta valores tal que la diferencia entre el índice de claridad para un determinado instante y el siguiente es mayor a 0.75 siempre y cuando SZA sea menor a 88° . Debido a la frecuencia temporal considerada para el desarrollo de este filtro, en este trabajo se utiliza para tiempos de adquisición menores o iguales a 30 minutos y para todas las latitudes. Los valores que no cumplen la condición de este filtro se consideran sospechosos y son marcados con el *flag 1*.

Filtro 4 (Valores truncados)

El filtro 4 considera días en los que se presenta un valor truncado (fijo) a partir de un determinado valor de GHI (Figura 2). Lo más probable es que esto se deba a un error producido durante la configuración del *datalogger*, pero, independientemente del motivo, no deberían considerarse datos provenientes de una base de datos en la cual haya valores truncados. El criterio que se tomó para el desarrollo de este filtro establece que valores consecutivos de GHI no deben presentar el mismo valor cuando $SZA < 90^\circ$. A la hora de utilizar este filtro se deben tener en cuenta dos aspectos importantes: en primer lugar, y más importante, los decimales con los que se adquieren los valores. En segundo lugar, debe tenerse en cuenta la sensibilidad del tipo de instrumento con el que se está trabajando. En este trabajo los valores detectados por este filtro se consideran sospechosos y son marcados con el *flag 1*.

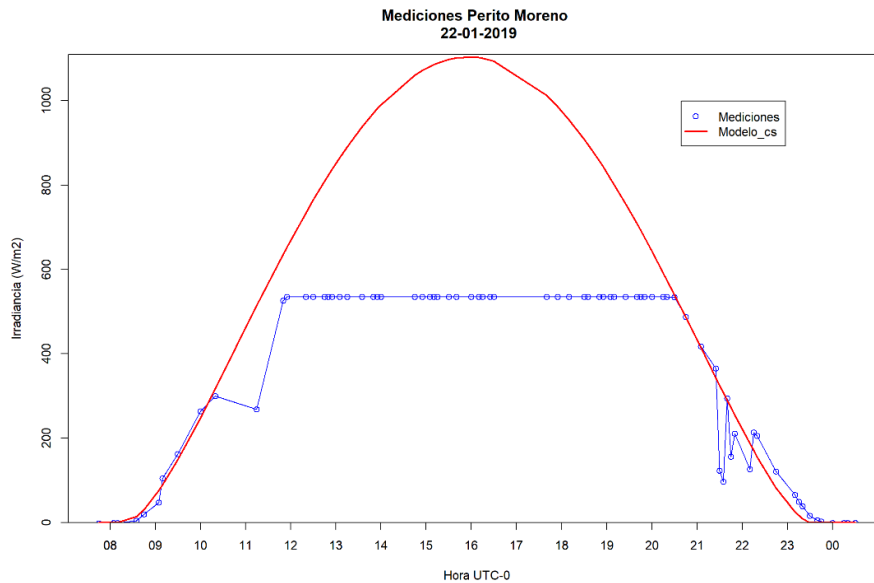


Figura 2. Estimaciones del modelo de cielo claro junto con mediciones obtenidas por la EMA instalada en Perito Moreno donde se pueden ver valores truncados en un valor máximo de 535 W/m².

4.2 FILTROS DIARIOS

En esta sección se presentan filtros que requieren conocer todos los datos correspondientes a un determinado día, por lo que solo pueden ser aplicados en tiempo diferido.

Filtro 5

El filtro 5 no es un filtro en sí mismo, sino un criterio de detección de datos posiblemente erróneos basado en la cantidad de datos marcados por los filtros aplicados a las mediciones de máxima frecuencia. Este filtro surge de observar varios días en los que se detectó una considerable cantidad de valores sospechosos mediante los filtros 1 a 4 (con uno de ellos o varios combinados). El ejemplo más claro en el que se observó esto fue en datos donde las mediciones son más altas que los obtenidos por el modelo de cielo claro en cierto rango temporal, como se puede ver en la Figura 3.

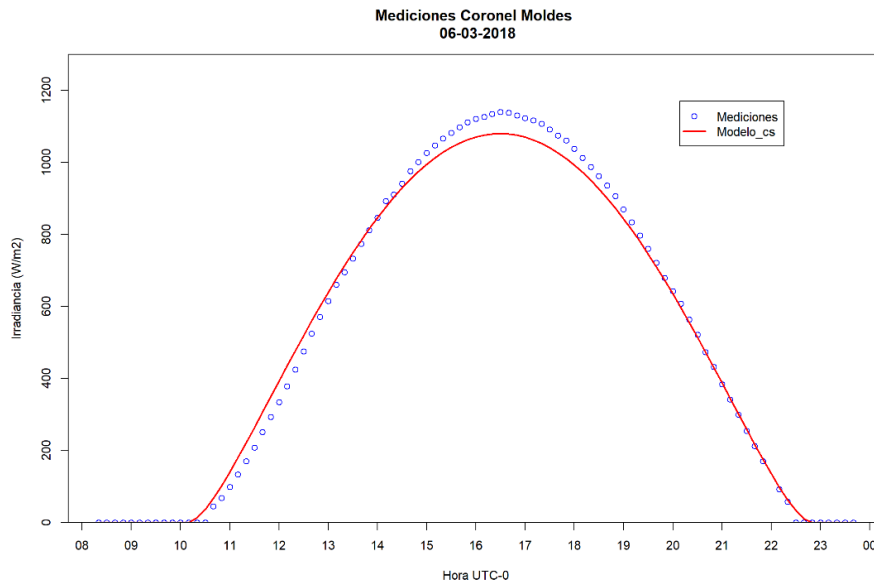


Figura 3. Mediciones obtenidas por la EMA instalada en Coronel Moldes y estimaciones del modelo de cielo claro.

En esta figura se puede ver que una porción de los datos medidos queda por debajo del modelo de cielo claro y no son marcados por ninguno de los filtros 1 a 4. Sin embargo, más del 56% de los datos diurnos del día en cuestión, para el sitio considerado, son superiores al modelo de cielo claro y por lo tanto marcados con el *flag* 1. Teniendo la posibilidad de analizar el comportamiento diario de los datos, se concluye que la confiabilidad de los datos no detectados por los filtros 1 a 4 dentro de un día en el que más del 40% de los datos sí fueron detectados por estos filtros es muy baja. Por ello, el filtro 5 establece que todos los datos que se encuentran en un día con más del 40% de los datos diurnos marcados con el *flag* 1 o 2 sean marcados con el *flag* 3, aun los que habían sido inicialmente marcados con el *flag* 1 o 2, de manera tal de que el usuario final decida si los utilizará o no.

Filtro 6

La implementación del filtro 6 encuentra motivación al analizar datos provenientes de diferentes estaciones en las cuales se encontró, de manera gráfica y con los datos de todo el día, un comportamiento inadecuado de los datos, pero observando que muchos de los valores diurnos pasaban los filtros anteriores. El filtro 6 establece criterios para marcar con el *flag* 4 todos los valores correspondientes a un determinado día en base a tres parámetros que se pueden obtener una vez finalizado el mismo. Estos parámetros son la desviación estándar de los valores diurnos, la desviación estándar de los valores nocturnos y *offset* nocturno. El filtro 6 se subdivide en tres sub-filtros (6.1, 6.2 y 6.3 en la Tabla 1) de acuerdo al parámetro a utilizar y, como se hace uso de valores diarios, entonces todos los valores de un determinado día se marcan con el *flag* 4 cuando no superan uno o más de estos sub-filtros. Este filtro es uno de los más importantes y, si bien no es aplicable en tiempo real porque requiere de los datos completos del día a analizar, permite comparar los valores obtenidos en un contexto más amplio teniendo en cuenta posibles problemas nocturnos que infieran problemas diurnos, así como la detección de problemas en los valores diurnos no encontrados en los filtros anteriores. Por ello, el filtro 6 utiliza todos los valores correspondientes a un determinado día, incluso si los mismos fueron marcados por alguno de los filtros anteriores.

Sub-filtro 6.1 (Poca variabilidad diurna)

Durante el análisis de los datos se encontraron estaciones que, durante un periodo de tiempo, presentaban valores con muy poca variación diurna, la cual no era esperable para su ubicación geográfica ni época del año. Un ejemplo de esto se puede ver en la Figura 4, donde varios momentos de dicho día son marcados por el filtro 2 pero, dado que el porcentaje de estos no era superior al 40% de los datos diurnos, entonces no fueron marcados con el *flag* 3.

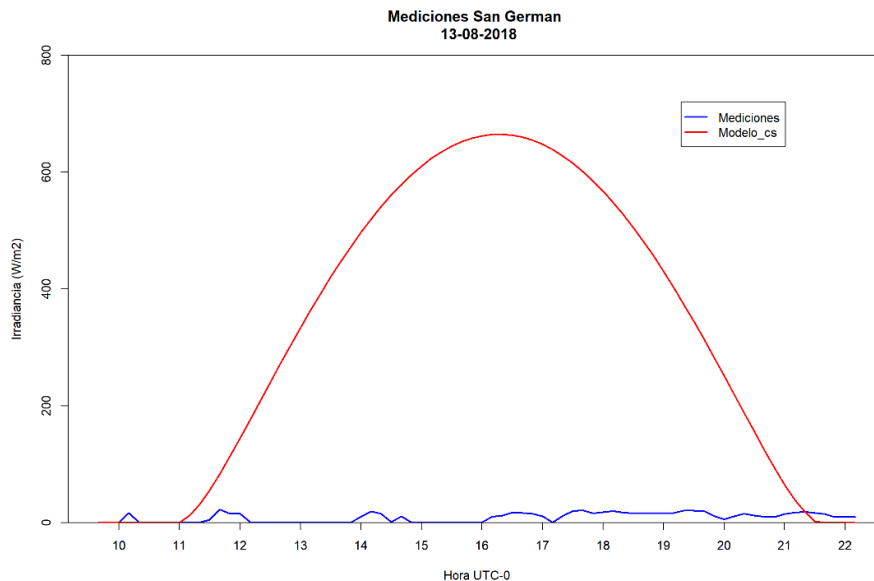


Figura 4. Mediciones obtenidas por la EMA instalada en San German y estimaciones del modelo de cielo claro para el día 13-08-2018.

El sub-filtro 6.1 se propone en este trabajo con la finalidad de identificar los días en los que los valores diurnos de GHI presentan una muy baja variabilidad, lo cual se puede deber principalmente a un valor truncado a partir de cierto valor, valores que cambian muy poco durante el día, mucha suciedad en la cúpula del sensor, entre otras. También puede ocurrir que, por desconfiguración del datalogger, un día determinado haya perdido sus valores diurnos y solo tenga valores nocturnos. Teniendo en cuenta este tipo de situaciones, el sub-filtro 6.1 hace uso de la desviación estándar diaria de los datos diurnos y se establece que los valores del día son inválidos y marcados con el *flag* 4 cuando la desviación estándar es menor a $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

El sub-filtro 6.1 es aplicable únicamente para sitios en continente, ya que en sitios antárticos se pueden dar días con condiciones meteorológicas donde haya muy poco cambio en GHI debido a o niebla o incluso si las fechas están cercanas a la noche polar. Por lo tanto, se debe aplicar para sitios en donde la latitud sea superior a -60° , siendo válido para todas las frecuencias de adquisición del dato.

Sub-filtro 6.2 (Mucha variabilidad nocturna)

Si bien se puede esperar que sensores termoeléctricos presenten leves fluctuaciones en los valores nocturnos de GHI, no es deseable que haya una variación importante en los mismos y menos aún que se presenten valores positivos. Durante el análisis e inspección visual de los datos de GHI se encontraron días en los que la gran variación de los valores nocturnos genera sospechas sobre los valores diurnos, aun cuando los últimos

pasaron los filtros anteriores. En la Figura 5 se puede observar el comportamiento de los datos de GHI para la base Carlini en donde se concluye que los datos corresponden, mayormente, a ruido compatible con diversas causas (sensor mal conectado, agua en los bornes del datalogger, empalmes mal hechos, etc.) con la complicación de que, a pesar de ser visiblemente ruido, los valores diurnos se encuentran entre límites posibles por lo que se les asignaría el *flag* 0 si no se realiza algún tipo de control diario. Se encontró que estos tipos de errores tienen asociados valores nocturnos positivos muy variables y altos (>10 W/m²).

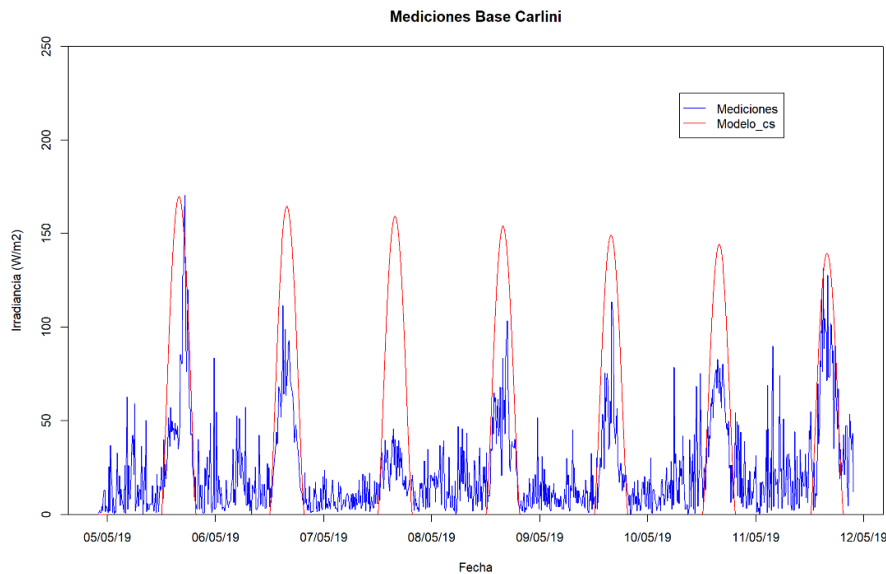


Figura 5. Mediciones obtenidas por la EMA instalada en base Carlini y estimaciones del modelo de cielo claro durante mayo de 2019. Las mediciones nocturnas corresponden a ruido que vuelve sospechosas las mediciones diurnas.

Luego de realizar un análisis de los valores nocturnos de GHI obtenidos por piranómetros termoeléctricos de alta calidad y con trazabilidad al World Radiation Center de Davos (WRC), se encontró que los valores nocturnos típicamente mostraban valores de desviación estándar menores a 2 W/m², por lo que este fue el valor que se adoptó como límite para la desviación estándar nocturna obtenido por las EMAs. Por lo tanto, si un determinado día presenta un valor de desviación estándar con valores nocturnos mayor a 2 W/m², todos los valores de ese día son marcados con el *flag* 4. Cabe aclarar que, para obtener la desviación estándar de los valores nocturnos, se utilizaron todos los valores del día antes del amanecer y luego de la puesta de sol tales que SZA>100°, para evitar posibles efectos atmosféricos que incrementen los valores de GHI.

El subfiltro 6.2 es igualmente aplicable para todo sitio independientemente de la latitud y del tiempo de adquisición de los datos.

Sub-filtro 6.3 (Offset nocturno)

Como ya se ha mencionado en la sección 3 las instituciones no tienen todas el mismo tipo de datalogger, y cada una tiene la potestad para configurarlo como lo considere más conveniente; por ello es posible que, debido a diferencias en la electrónica y/o en la configuración del *datalogger*, se pueda generar un valor de *offset* tanto negativo como positivo. Este *offset* se puede obtener de manera sencilla durante las horas nocturnas, debido a la ausencia de radiación solar, como un promedio de los valores de GHI tales que SZA>100°. Como se explicó en el subfiltro 6.2, el comportamiento de los valores nocturnos es un buen

parámetro para poder detectar valores diurnos sospechosos. Es por esto que el subfiltro 6.3 se centra en los valores de *offset* nocturno con la finalidad de determinar un rango de aceptabilidad para este parámetro a través de la implementación de valores límite tanto superiores como inferiores. En la Figura 6 se pueden observar mediciones con un *offset* nocturno tan alto que, automáticamente, invalida las mediciones diurnas a pesar de que las mismas se encuentran dentro de parámetros adecuados.

Para obtener el valor inferior se utiliza el enfoque propuesto por Long y Dutton (2002) y Long y Shi (2008), quienes establecieron que los valores nocturnos físicamente posibles pueden alcanzar valores de hasta -4 W/m^2 . Por otro lado, a través de la comparación con modelo de cielo claro, se encontraron sitios con datos de GHI con un *offset* nocturno positivo, pero con valores diurnos en su mayor parte dentro de rangos esperables. En este trabajo se encontró que un valor de *offset* nocturno de hasta 2 W/m^2 sigue siendo adecuado teniendo en cuenta las diferencias en la tecnología de los dataloggers, su configuración y su calibración

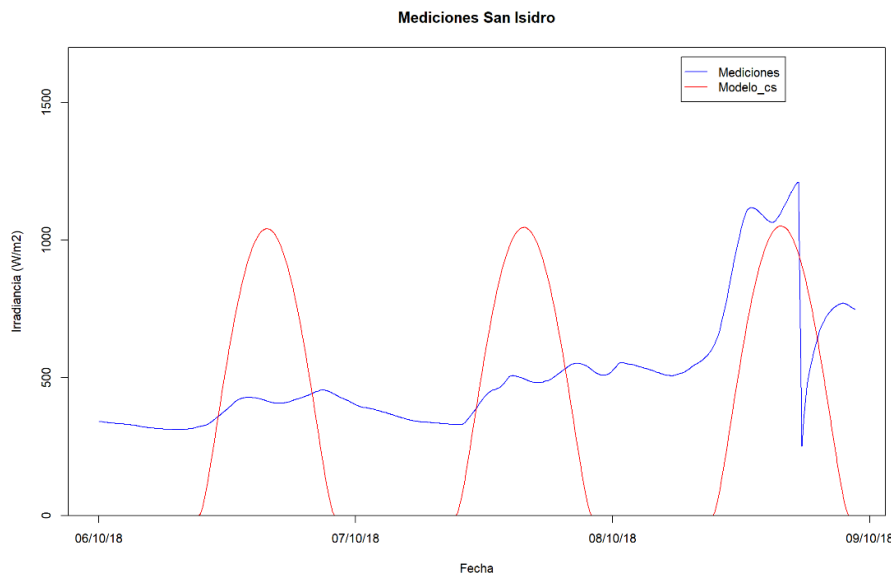


Figura 6. Mediciones obtenidas por la EMA instalada en San Isidro y estimaciones del modelo de cielo claro durante octubre de 2018. Las mediciones nocturnas presentan valores que vuelve sospechosas las mediciones diurnas.

Este subfiltro 6.3 es igualmente aplicable para todo sitio independientemente de la latitud y del tiempo de adquisición de los datos.

Filtro 7 (Valores diurnos faltantes)

Así como trabajar con datos sospechosos de ser erróneos puede conducir a conclusiones erróneas, trabajar con datos incompletos también puede ser un problema a la hora del análisis. Por ello, el filtro 7 se implementa en la presente metodología con la finalidad de detectar días que no cuenten con, al menos, el 80% de los datos diurnos. Para ello, en este filtro se calcula la cantidad teórica de datos diurnos que debería tener cada día en cada sitio en función de sus coordenadas, fecha y la frecuencia de muestreo. Este valor se compara con la cantidad de datos diurnos disponibles con el criterio de que si la cantidad de datos diurnos disponible es menor al 80% de los teóricos entonces todos los valores de dicho día se marcan con el *flag* 5.

Si bien este filtro no está directamente relacionado con la calidad de los datos de GHI para un día en particular, se debe tener en cuenta que si se presentan muchos días incompletos entonces sin dudas que este hecho afecta la calidad final de la base de datos. Si durante mucho tiempo se tienen días con menos del 80% entonces los datos no serán significativos para casi ningún estudio. Asimismo, si esto solo ocurriera un solo día entonces no debería ser un problema el desecharlo.

El filtro 7 es aplicable para todo sitio independientemente de la latitud y del tiempo de adquisición de los datos.

4.3 FILTRO MENSUAL

En esta sección se presenta un filtro que trabaja a nivel mensual haciendo uso de los filtros diarios presentados en la sección 4.2.

Filtro 8

Cuando se dispone de todos los valores de GHI correspondientes a un determinado mes luego de haber aplicado los filtros 1 al 7, es posible identificar días que, si bien superaron dichos filtros, deben ser marcados como sospechosos por estar rodeados de días que presentaron los *flags* diarios 6 y 7. Ejemplos de este tipo de comportamiento se pueden ver en las Figuras 7 y 8. En la Figura 7 se observan datos correspondientes a la base antártica Carlini durante el mes de mayo de 2019 donde los valores nocturnos tienen una alta variabilidad por lo que todos los días, a excepción del 03-05, fueron marcados con el *flag* 6. El hecho de que tantos días de un determinado mes hayan presentado un comportamiento que los invalida conlleva que ese día, donde el comportamiento parece adecuado, sea considerado también sospechoso. Por otro lado, en la Figura 8 se puede ver que los valores de GHI para el sitio en cuestión presentan valores muy altos, por encima incluso de la irradiancia extraterrestre, por lo que casi todos los días fueron marcados con el *flag* 5. El análisis se centra en los días 23-12 y 28-12 dado que, por la presencia de nubes, la mayor parte del día presenta valores de GHI que pasan los filtros 1 a 7, a pesar de que el comportamiento de los días contiguos mostraría un factor de calibración muy diferente al que correspondería. Es por esto que el filtro 8 de la presente metodología establece que si 10 o más días de un determinado mes han sido marcados con los *flags* 5 y/o 6 entonces los días de ese mes que no presenten esos *flags* quedarán marcados con el *flag* 6 y el usuario de los datos debe decidir si considerará esos datos en su análisis o no.

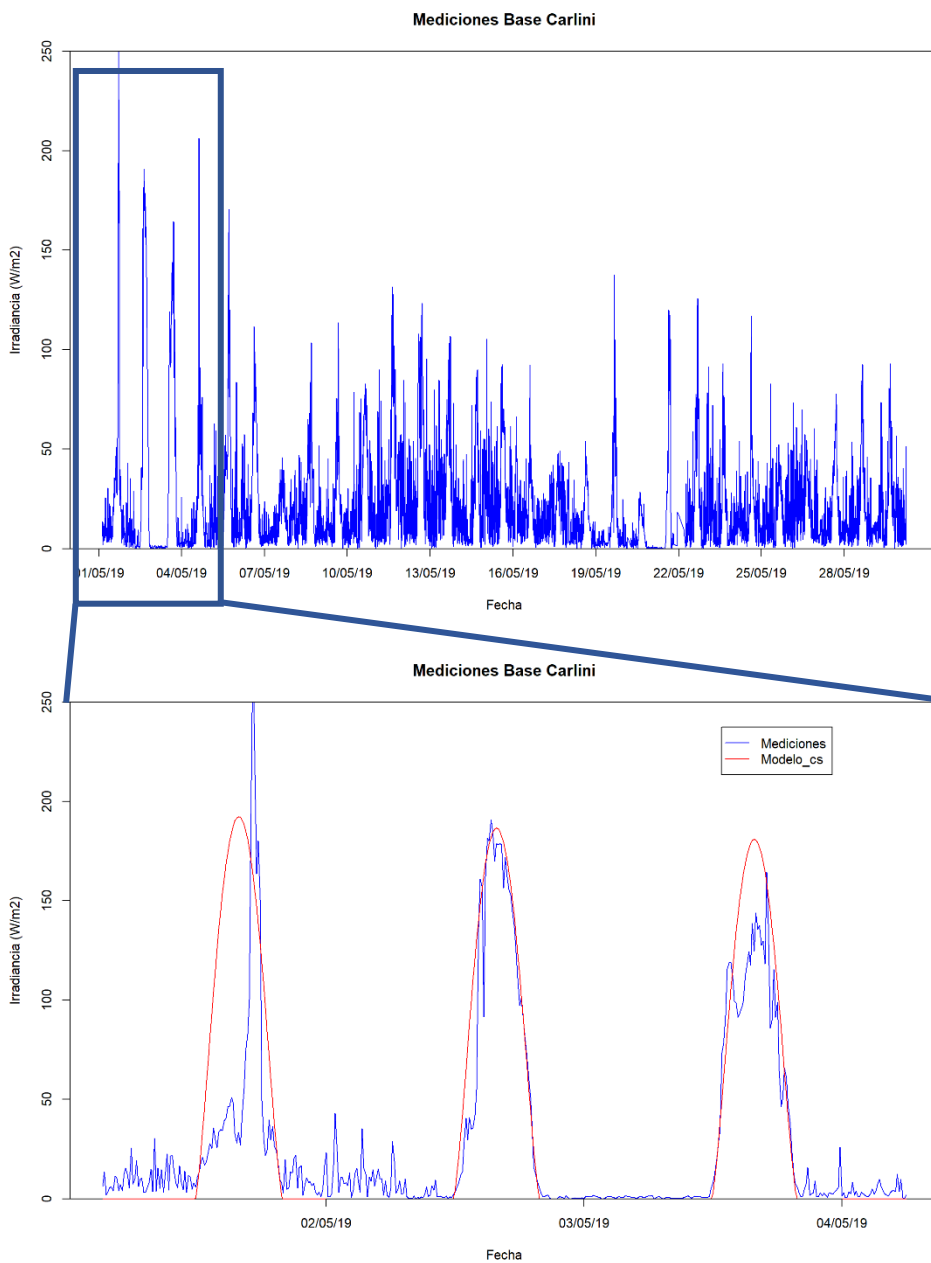


Figura 7. Mediciones obtenidas por la EMA instalada en base Carlini donde se observa un ruido en las mediciones nocturnas que pone en duda la integridad de las mediciones diurnas. Se colocan las estimaciones del modelo de cielo claro como referencia.

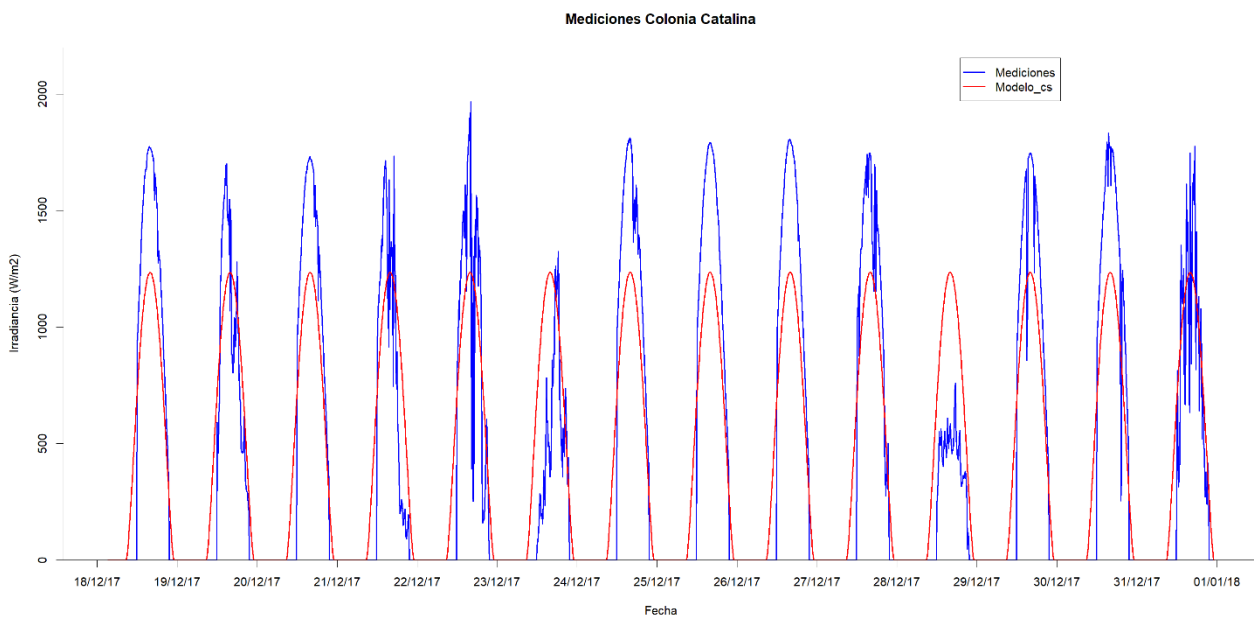


Figura 8. Mediciones en las que se observan que la mayor parte de las mismas se encuentran por encima del modelo de cielo claro en días despejados a excepción de días con marcada nubosidad.

4.4 JERARQUÍA DE LOS FILTROS

La metodología de QC implementada en este trabajo presenta 7 *flags*, de acuerdo al tipo de filtro utilizado. Los *flags* van desde 0 hasta 6, donde el *flag* 0 se reserva para todos los datos que pasaron los filtros. El hecho de plantear diferentes *flags* de acuerdo al tipo de filtro utilizado permite establecer una jerarquía entre los mismos, teniendo en cuenta la severidad de cada filtro, así como la invalidez de datos que cada uno de ellos presenta. Debe tenerse presente que el orden en el que los filtros se presentan, del 1 al 8, responde a la periodicidad con la que se pueden aplicar teniendo en cuenta que hay algunos que pueden aplicarse en tiempo real, otros a día vencido y otros a mes vencido. A pesar de esto, la severidad asociada a cada uno de los *flags* no sigue el mismo orden que los filtros. En la Tabla 2 se presenta, en orden descendiente, la prioridad a la hora de establecer un *flag* final para cada dato. Esto quiere decir que, si un dato es marcado con 2 o más *flags*, entonces el *flag* final asociado a ese dato será el de mayor jerarquía o prioridad según la tabla 2. Un ejemplo de esto podría ser el análisis de los *flags* para un día de la Figura 8. Ese día tendrá valores marcados con el *flag* 1 y el *flag* 2 pero, luego de un análisis diario, todos los valores de ese día deben ser marcados con el *flag* 3 por tener mayor jerarquía. Otro ejemplo de día marcado con varios *flags* corresponde al primer día de la Figura 7 (día 01-05-2019). Los valores de ese día son marcados con el *flag* 4 por no pasar el filtro 6, pero también tienen el *flag* 6 por el comportamiento mensual y, algunas mediciones de ese día tampoco pasan el filtro 1 por ser mayores al modelo de cielo claro. Si el *offset* nocturno de ese día estuviera en el rango esperable, entonces las mediciones que superan el modelo serían marcadas con el *flag* 1 y el resto con el *flag* 6. Dada la situación del *offset* nocturno, entonces todos los valores de ese día se marcarán con el *flag* 4 por su mayor jerarquía.

Tabla 2. Jerarquía de los flags. Se indica la prioridad de arriba hacia abajo, siendo los flags 3 y 4 los más prioritarios y el flag 5 el menos prioritario.

| Flag |
|-------------|
| 3 y 4 |
| 2 |
| 1 |
| 6 |
| 5 |

En este trabajo se consideró que los *flags* 3 y 4 tienen la mayor jerarquía debido a que los mismos se asocian con filtros diarios, que son capaces de identificar comportamientos anómalos considerando la variabilidad diurna y nocturna. Por otro lado, los *flags* 2 y 1 siguen en el orden descendiente, respectivamente, debido a que están asociados con valores que no superan alguno de los criterios instantáneos por lo que se consideran inválidos, en el caso del *flag* 2, o sospechosos en el caso del *flag* 1. Luego sigue el *flag* 6, el cual establece la sospecha sobre los valores de todo un día, pero analizando el comportamiento de todo el mes, por lo que el criterio aplicado en el mismo es indirecto. Por último, el *flag* 5 es el que menor jerarquía o severidad presenta teniendo en cuenta que no presenta un criterio para detectar datos sospechosos de ser erróneos, sino que marca los datos de acuerdo a la cantidad de datos diurnos disponibles, independientemente de su calidad.

5. LIMITACIONES Y MEJORAS

Si bien la metodología de QC presentada en este trabajo cuenta con las fortalezas de contemplar posibles efectos transitorios y geográficos, implementación automática y la posibilidad de realizar los controles en tiempo real y/o diferido, no es capaz de detectar algunos problemas conocidos asociados con los datos de radiación solar. Un ejemplo de esto es la desnivelación que se puede producir en los sensores de manera natural y que requiere la intervención de una persona para asegurar el mantenimiento continuo.

Esta metodología tampoco detecta si un sensor determinado está obteniendo valores de GHI menores a los esperables debido a la tierra o polvo que pueda tener la cúpula externa de un sensor o incluso debido a un factor de calibración inadecuado que genere la obtención de valores levemente inferiores al modelo de cielo claro.

Debido a la dificultad que conlleva detectar disminuciones sistemáticas para un determinado SZA, la metodología tampoco es capaz de detectar posibles bloqueos de la radiación solar que produzcan sombras sistemáticas sobre los sensores.

Una de las grandes limitaciones se encuentra en el filtro 1 debido a que el uso de un valor fijo de TL2 en el modelo de cielo claro puede no ser representativo para todos los sitios y épocas del año. Una mejora que se podría implementar sería la utilización de algún modelo más complejo que presente un mejor desempeño, lo cual se consigue utilizando mayor cantidad de parámetros de entrada. Un modelo que ha presentado un buen desempeño al ser contrastado con mediciones es el REST2 (Gueymard, 2008), en el que se pueden utilizar estimaciones obtenidas por reanálisis como MERRA2 como parámetros de entrada (Sun y otros, 2019; Sun y otros, 2021). Una opción más sencilla es obtener los valores de GHI_{cs} a través del modelo McClear, los cuales pueden descargarse a través de la página web de SODA (<http://www.soda-pro.com/web->

[services/radiation/cams-mcclear](#)). Los datos obtenidos por este modelo han presentado una validada performance (Lefèvre y otros, 2013; Gschwind y otros, 2019).

Este trabajo se presenta como un análisis y propuesta de metodología preliminar para la detección de valores de GHI sospechosos de ser erróneos. Por ello, se continuará trabajando en esta temática con el objetivo de optimizar los filtros propuestos y se trabajará en el desarrollo de otros filtros que permitan optimizar los criterios de control de calidad de los datos.

6. REFERENCIAS

Geiger, M., Diabaté, L., Ménard, L., & Wald, L. 2002. A web service for controlling the quality of measurements of global solar irradiation. *Solar Energy*, 73(6), 475–480. doi:10.1016/s0038-092x(02)00121-4

Geuder, N., Wolfertstetter, F., Wilbert, S., Schüler, D., Affolter, R., Kraas, B., ... Espinar, B. 2015: Screening and Flagging of Solar Irradiation and Ancillary Meteorological Data. *Energy Procedia*, 69, 1989–1998. doi:10.1016/j.egypro.2015.03.205

Gschwind, B., Wald L., Blanc, P., Lefèvre, M., Schroedter-Homscheidt, M., Arola, A., 2019: Improving the McClear model estimating the downwelling solar radiation at ground level in cloud free conditions - McClear-V3., *Meteorol. Z./Contrib. Atm. Sci.*, 28, 2, 147-163, doi: 10.1127/metz/2019/0946.

Gueymard C. A. 2008: REST2: High-performance solar radiation model for cloudless-sky irradiance, illuminance, and photosynthetically active radiation – Validation with a benchmark dataset. , 82(3), 272–285. doi:10.1016/j.solener.2007.04.008

Gueymard, C. A. 2017: Cloud and albedo enhancement impacts on solar irradiance using high-frequency measurements from thermopile and photodiode radiometers. Part 1: Impacts on global horizontal irradiance. *Solar Energy*, 153, 755–765. doi:10.1016/j.solener.2017.05.004

Gueymard, C. A. 2018: A reevaluation of the solar constant based on a 42-year total solar irradiance time series and a reconciliation of spaceborne observations. *Solar Energy*, 168, 2–9. doi:10.1016/j.solener.2018.04.001

Journée, M., and Bertrand, C. 2011: Quality control of solar radiation data within the RMIB solar measurements network. *Solar Energy*, 85(1), 72–86. doi:10.1016/j.solener.2010.10.021

Laiti, L.; Andreis, D.; Zottele, F.; Giovannini, L.; Panziera, L.; Toller, G.; Zardi, D. 2014: A Solar Atlas for the Trentino Region in the Alps: Quality Control of Surface Radiation Data. *Energy Procedia*, 59(), 336–343. doi:10.1016/j.egypro.2014.10.386

Lefèvre, M., Oumbe, A., Blanc, P., Espinar, B., Gschwind, B., Qu, Z., Wald, L., Schroedter-Homscheidt, M., Hoyer-Klick, C., Arola, A., Benedetti, A., Kaiser, J. W., and Morcrette, J.-J. 2013: McClear: a new model estimating downwelling solar radiation at ground level in clear-sky conditions, *Atmos. Meas. Tech.*, 6, 2403–2418, <https://doi.org/10.5194/amt-6-2403-2013>, 2013.

- Lemos, L. F. L., Starke, A. R., Boland, J., Cardemil, J. M., Machado, R. D., & Colle, S. 2017: Assessment of solar radiation components in Brazil using the BRL model. *Renewable Energy*, 108, 569–580. doi:10.1016/j.renene.2017.02.077
- Long, C.N., Dutton, E.G., 2002: BSRN Global Network recommended QC tests, V2.0. Available online at <https://epic.awi.de/id/eprint/30083/1/BSRN_recommended_QC_tests_V2.pdf> (Last accessed 08/Jul/2020).
- Long, C.N., Shi, Y., 2008: An automated quality assessment and control algorithm for surface radiation measurements. *Open Atmos. Sci. J.* 2, 23–27. <http://dx.doi.org/10.2174/1874282300802010023>
- Maxwell, E., Wilcox, S., & Rymes, M. 1993: Users manual for seri qc software, assessing the quality of solar radiation data. Solar Energy Research Institute, Golden, CO. Available online at <<https://www.nrel.gov/docs/legosti/old/5608.pdf>> (Last accessed 22/May/2019).
- Mirás-Avalos, J. M., Rodríguez-Gómez, B. A., Meizoso-López, M. del C., Sande-Fouz, P., González-García, M. Á., and Paz-González, A. 2012: Data quality assessment and monthly stability of ground solar radiation in Galicia (NW Spain). *Solar Energy*, 86(12), 3499–3511. doi:10.1016/j.solener.2011.09.017
- Moradi, I. 2009: Quality control of global solar radiation using sunshine duration hours. *Energy*, 34(1), 1–6. doi:10.1016/j.energy.2008.09.006
- Pashiardis, S.; Kalogirou, S.A. 2016: Quality control of solar shortwave and terrestrial longwave radiation for surface radiation measurements at two sites in Cyprus. *Renewable Energy*, 96(), 1015–1033. doi:10.1016/j.renene.2016.04.001
- Perez-Astudillo, D., Bachour, D., & Martin-Pomares, L. 2018: Improved quality control protocols on solar radiation measurements. *Solar Energy*, 169, 425–433. doi:10.1016/j.solener.2018.05.028
- Rigollier, C., Bauer, O., & Wald, L. 2000: On the clear sky model of the ESRA — European Solar Radiation Atlas with respect to the heliosat method. *Solar Energy*, 68(1), 33–48. doi:10.1016/s0038-092x(99)00055-9
- Rojas, R. G., Alvarado, N., Boland, J., Escobar, R., & Castillejo-Cuberos, A. 2018: Diffuse fraction estimation using the BRL model and relationship of predictors under Chilean, Costa Rican and Australian climatic conditions. *Renewable Energy*. doi:10.1016/j.renene.2018.09.079
- Ruiz-Arias, J. A., Alsamamra, H., Tovar-Pescador, J., & Pozo-Vázquez, D. 2010: Proposal of a regressive model for the hourly diffuse solar radiation under all sky conditions. *Energy Conversion and Management*, 51(5), 881–893. doi:10.1016/j.enconman.2009.11.024
- Sanchez, G., M. L. Cancillo, and A.Serrano 2016: An intercomparison of the thermal offset for different pyranometers, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 7901–7912, doi:10.1002/2016JD024815.
- Shafer, M. A., Fiebrich, C. A., Arndt, D. S., Fredrickson, S. E., & Hughes, T. W. 2000: Quality Assurance Procedures in the Oklahoma Mesonet. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 17(4), 474–494. doi:10.1175/1520-0426(2000)017<0474:qapito>2.0.co;2
- Shi G. Y., Hayasaka T, Ohmura A, Chen ZH, Wang B, Zha JQ, y otros. 2008: Data quality assessment and the long-term trend of ground solar radiation in China. *J Appl Meteorol Climatol* 2008;47:1006e16.

Sun, X., Bright, J. M., Gueymard, C. A., Acord, B., Wang, P., & Engerer, N. A. 2019: Worldwide performance assessment of 75 global clear-sky irradiance models using Principal Component Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 111, 550–570. doi:10.1016/j.rser.2019.04.006

Sun, Xixi; Bright, Jamie M.; Gueymard, Christian A.; Bai, Xinyu; Acord, Brendan; Wang, Peng. 2021: Worldwide performance assessment of 95 direct and diffuse clear-sky irradiance models using principal component analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135(), 110087–. doi:10.1016/j.rser.2020.110087

Urraca, R., Gracia-Amillo, A.M., Huld, T., de Pison, F.J.M., Trentmann, J., Lindfors, A.V., Riihelä, A., Sanz-Garcia, A., 2017: Quality control of global solar radiation data with satellite-based products. *Solar Energy* 158, 49–62. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2017.09.032>.

World Meteorological Organization, 2007: Guide to the global observing system, WMO-No 488. Available online at <http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Manual/488_Guide_2007.pdf> (Last accessed 19/jun/2020).

Yabra, M. S., R. de Elia, L. Vidal, M. Nicolini, R. Vasques Ferro, C. Ribero, L. Chiaparrí, E. Fernández, C. Campetella, O. Bonfili, M. Ceballos, G. Barrera, N. Troche, V. López, M. Schizzano, N. Bentancor, L. Berengua y M. Steven, 2021: Las nieblas en los aeropuertos argentinos: revisión de literatura y perspectiva de los pronosticadores. Nota Técnica SMN 2021-89

Younes, S., Claywell, R., and Muneer, T. 2005: Quality control of solar radiation data: Present status and proposed new approaches. *Energy*, 30(9), 1533–1549. doi:10.1016/j.energy.2004.04.031

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), Luciano Vidal (lvidal@smn.gov.ar) o Martín Rugna (mrugna@smn.gov.ar) de la Gerencia de Investigación, Desarrollo y Capacitación, 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).