

LA MEDICIÓN DE LA IRRADIANCIA SOLAR EN ARGENTINA. RESEÑA HISTÓRICA Y SUS PROTAGONISTAS

H. Grossi Gallegos

Loreto 2060, Castelar, (1712) Buenos Aires, Argentina. E-mail: hugogrossi.1@gmail.com

Recibido: 1-11-20; Aceptado: 20-12-20.

RESUMEN.- Dentro de muy pocos años se cumplirá un siglo del comienzo de la medición de la constante solar en Argentina, hecho en general ignorado o muy poco recordado por la comunidad científica. El propósito de este artículo es historiar la sucesión de los hechos acaecidos en estos casi 100 años, pero al mismo tiempo mencionar a sus protagonistas, lo cual no es tan habitual sino tan sólo a través de sus publicaciones. La medición de la irradiancia solar ha sufrido los vaivenes propios de un país como Argentina, a lo que se agrega la falta de un organismo totalmente dedicado al tema; se la ha tratado como una variable meteorológica más y no suele asignársele la importancia de la instrumentación utilizada, de la longitud de las series y del control de calidad de la información obtenida. El creciente aprovechamiento de su energía refuerza el valor de estas consideraciones.

Palabras claves: irradiancia solar, medición, Argentina.

MEASUREMENT OF SOLAR IRRADIANCE IN ARGENTINA. HISTORICAL OVERVIEW AND ITS LEADING PLAYERS

ABSTRACT.- In a very few years, a century will come from the beginning of the measurement of the solar constant in Argentina, a fact generally ignored or little remembered by the scientific community. The purpose of this article is to chronicle the succession of events that have occurred in these almost 100 years, but at the same time mention their protagonists, which is not so common but only through its publications. The measurement of solar irradiance has suffered the fluctuations of a country like Argentina, to which must be added the lack of an organization totally dedicated to the subject; it has been treated as one more meteorological variable and it has not usually assigned the importance of the instrumentation used, the length of the series and the quality control of the information obtained. The increasing utilization of its energy encourages the value of these considerations.

Key words: solar irradiance, measurement, Argentina.

1. INTRODUCCIÓN

Dentro de muy poco se cumplirán 100 años del comienzo de la medición de la constante solar en Argentina, hecho en general ignorado o muy poco recordado por la comunidad científica. En la mayoría de los casos, los autores de los trabajos utilizan la información obtenida en estaciones de medición que son atendidas diligentemente por personal técnico calificado y procesada adecuadamente, el que no suele ser mencionado como parte integrante del grupo.

El propósito de este artículo es historiar la sucesión de los hechos acaecidos en estos casi 100 años, pero al mismo tiempo identificar a sus protagonistas, lo cual no es tan habitual sino tan sólo a través de sus publicaciones. El autor de este trabajo protagonizó casi la mitad de los hechos que aquí se narran o tuvo trato con los que los llevaron adelante; y el resto de la información la obtuvo de entrevistas mantenidas con investigadores que revistaban en los organismos responsables de hacer las mediciones o a partir de informes técnicos incluidos en publicaciones internas. Suele decirse que la historia la escriben los que ganan (en este caso, al tiempo o a la memoria) y eso implica que pueda haber otra historia o haberse omitido a algunas personas.

Ya que se la mencionó, vale la pena recordar que la radiación en la superficie del Sol es de alrededor de 60.000 kW/m^2 , llegando al tope de la atmósfera terrestre sólo algo más de 1 kW/m^2 en los días más claros; este valor es conocido como *constante solar* I_{cs} (actualmente se la denomina *Irradiancia Solar Total*, I_{sr} , o TSI , por sus iniciales en inglés) y se lo define como la energía proveniente del Sol que, por unidad de tiempo, es recibida en la unidad de área por una superficie perpendicular a la radiación, ubicada en el espacio a la distancia media Sol-Tierra. En realidad, la constancia de este valor no es tal ya que es afectado por la actividad solar (manchas oscuras y fáculas brillantes) y sigue sus variaciones, como lo demuestran las mediciones efectuadas desde satélites a partir de 1978 (Grossi Gallegos y Raichijk, 2018). Los aumentos de las variaciones que se dan día a día están asociados a las fáculas y a la granulación, mientras que las disminuciones se deben a la presencia de las manchas solares. Si bien los porcentajes parecen pequeños, una variación del 0,1 % representa una cantidad de energía similar a la usada actualmente en el total de las actividades humanas.

A pesar de que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) todavía no modificó el valor de $(1367 \pm 7) \text{ Wm}^{-2}$ adoptado en 1982, el equipo responsable del radiómetro Total Irradiance Monitor (TIM) de NASA, embarcado en el satélite SORCE (Solar Radiation and Climate Experiment), recomendó como valor promedio, al cabo de 5 años de mediciones, $(1360,9 \pm 0,2) \text{ Wm}^{-2}$, mientras que el Observatorio Físico Meteorológico de Davos (PMOD) presenta en su página el valor $(1361,0 \pm 0,4) \text{ Wm}^{-2}$. Los valores sugeridos en el trabajo de Lean (2018), comparando el modelo climático de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) para los últimos 60 años con índices de irradiancia cosmogénica, son muy próximos.

2. ANTECEDENTES

La Oficina Meteorológica Argentina (OMA) fue creada el 4 de octubre de 1872 (SMN, 2005). Y ya en 1874 se realizaban en la estación Córdoba Capital las primeras observaciones de radiación solar; a partir de marzo de 1886 comenzó a medirse regularmente allí la *duración mensual del resplandor solar* (heliofanía) con un heliógrafo de Campbell-Stokes, y en la Estación Fisherton (Santa Fe), a partir de mayo de 1888. Prontamente se sumó la de Chacarita (Buenos Aires).

Mientras tanto, y si bien excede la finalidad de este trabajo, es conveniente mencionar que ya en 1893 Knut Ångström había desarrollado en Estocolmo el denominado “pirheliómetro de compensación”, modelo que sufrió varias modificaciones desde entonces y que fue utilizado como patrón de referencia para la calibración de instrumentos.

En el Smithsonian Institute en Washington Charles Abbot desarrolló con la misma finalidad el “pirheliómetro de disco de plata” en 1902 (que sufrió algunas modificaciones en 1909 y 1927) y en 1905, el “pirheliómetro de flujo de agua”, que él mismo modificó en 1932.

Estos equipos dieron lugar a dos escalas pirheliométricas, una adoptada en 1905 (basado en el instrumento de Ångström) y la otra en 1913 (basada en el instrumento de disco de plata de Abbot), las que no resultaron idénticas (las razones fueron varias: las diferentes aperturas, formas y dimensiones, como también la fracción de hemisferio subtendido por cada uno). La comparación de ambas llevó a adoptar la Escala Pirheliométrica Internacional (IPS56). Posteriores comparaciones condujo a fijar en 1975 la Referencia Radiométrica Mundial (WRR), vigente en la actualidad.

Quienes estén interesados en los detalles de estos patrones pueden remitirse a dos obras clásicas: “*Solar Radiation*”, de la que fue editor N. Robinson en 1966 (copia del cual fuera oportuna y generosamente distribuida sin cargo por la ASADES en su Segunda Reunión de Trabajo mantenida en Salta), y “*Solar Engineering of Thermal Processes*” de Duffie y Beckman, a través de sus diferentes ediciones.

El 1 de julio de 1904 se creó el Observatorio Meteorológico y Geofísico de Pilar (Córdoba), en las márgenes del Río II, que bien pronto amplió sus tareas con el estudio de la irradiación y la exploración del disco solar, registrando la ubicación de manchas y fáculas.

En el Boletín Mensual de la OMA se publicó en junio de 1916 un artículo de H. H. Clayton sobre “*El efecto de las variaciones de período corto de la radiación solar en la atmósfera de la tierra*” (Clayton, 1916). Quien había sido

antes jefe del Observatorio Meteorológico de Blue Hills, en los EEUU de Norteamérica, contaba por ese entonces con la colaboración local del argentino Guillermo Hoxmark.

Vale la pena recordar que en 1902 Samuel Langley había comenzado en la Smithsonian Institution el programa de observación de la Constante Solar, trabajo que fue pronto tomado por su ayudante, Charles Abbot, quien lo condujo por más de 60 años. Para ello, se instalaron una serie de estaciones en diversos lugares del mundo, siendo una de ellas el Observatorio del Cerro Montezuma (2743 msnm), cerca de Calama, Antofagasta, en la vecina República de Chile. Abbot mantuvo siempre, hasta el fin de sus días (a los 101 años) la existencia de una variación intrínseca en la constante solar, variación que, según su opinión, provocaría la variabilidad del tiempo.

El valor de la constante solar obtenido por Abbot y sus colegas en el Smithsonian Institution fue de 1322 Wm^{-2} : una diferencia inferior al 3% con el actual. El 1° de julio 1955 la Estación Montezuma en Chile fue lamentablemente abandonada como consecuencia de la polución ambiental provocada por la extracción a cielo abierto de cobre, oro y molibdeno en la gigantesca mina próxima de Chuquicamata, que impedía la calidad necesaria en las observaciones.

Influenciados tal vez por estas ideas, Clayton y Hoxmark solicitaron al observatorio chileno los valores de radiación registrados, los que comenzaron a recibir a partir del 12 de diciembre de 1918. Esto dio lugar a dos nuevos trabajos publicados en el Boletín Mensual en sus entregas de febrero de 1918 y junio de 1919.

Como final de uno de ellos, Clayton dirigió una nota al profesor Jorge Wiggins, por entonces director de la Oficina, expresando que “sería un motivo de congratulación si la Argentina pudiera establecer por lo menos un observatorio así” (se refería al de Calama). Finalmente, se creó en 1923 (hace casi 100 años) el Observatorio Geofísico de La Quiaca (Jujuy) cuyo primer objetivo fue la determinación de la constante solar. Para entonces, la heliofanía se medía de manera sistemática en 13 estaciones de la OMA.

El interés en las mediciones hechas en Argentina quedó reflejado en un artículo publicado por la Smithsonian Institution en su colección de Misceláneas (Hoxmark, 1925), que mereció ser precedido por una nota introductoria del mismo Abbot.

3. ACTIVIDADES

Período 1920 – 1940.

Durante 10 años, a partir de 1923, se realizaron mediciones de la constante solar desde el Observatorio Heliofísico de La Quiaca, Jujuy, ubicado a una altura de 3462 metros, con instrumental similar al de la Smithsonian Institution que operaba en Chile.

En 1925 regresó de Alemania, en donde había cursado estudios de especialización como becario, el Dr. Martín Cappelletti, asumiendo en 1929 la Jefatura de Geofísica. En 1931, siendo director el Ingeniero Alejandro Galmarini, fue designado Jefe de la División Sismología y, poco después, del Departamento de Geofísica (del cual dependía Radiación Solar), cargo en el que permaneció hasta 1948. Le tocaría

presidir un período fecundo en la medición de la irradiancia solar.

El 28 de septiembre de 1935 fue sancionada la ley 12.252, conocida como "Ley Cafferatta" (HCNA, 1935), la que dio gran impulso a la investigación meteorológica, geofísica e hidrológica. Por ella se denominó Dirección de Meteorología, Geofísica e Hidrología (DMGH) a la ex-Oficina Meteorológica Argentina, guardando su dependencia con el Ministerio de Agricultura. Esta ley estipuló además franquicias aduaneras para la importación de instrumental, proveyendo un fondo especial para su adquisición.

Período 1940 – 1960.

En la década del '40 se comienzan a realizar mediciones de la irradiancia solar con piranógrafos bimetálicos fabricados por la empresa FUESS en unas veinte estaciones, incluyendo la del Observatorio Central de Buenos Aires desde el año 1940. Este instrumento fue diseñado originalmente por Robitzsch en 1932 y consiste esencialmente en una varilla bimetálica ennegrecida, sujeta por un extremo y libre por el otro. Al absorber la radiación, el par bimetálico se encorva y transmite la deformación a un sistema de registro sobre papel (para totales diarios sus errores no son inferiores al 10%); ya no son recomendados por la Organización Meteorológica Mundial por no ser absolutamente planos en su respuesta, por hallarse insuficientemente compensados por temperatura y por ser su calibración tediosa y poco estable (ya que su sensibilidad depende de la temperatura, de la altura y acimut solares y de la intensidad de la radiación). Para 1943 trabajaban en el tema los doctores Maiztegui y Cicchini, quienes poco después se alejaron de la institución.

Siendo el Dr. Jacinto Burgos jefe del Departamento de Meteorología Agraria, se instalaron a partir de 1946 siete estaciones meteorológicas que incluían piranógrafos, las que operaron alrededor de 7 años.

En 1947 viene al país, contratado por el ya entonces Servicio Meteorológico Nacional (SMN), dependiente de la Secretaría de Aeronáutica, el Dr. Fritz Prohaska, formado en la escuela austríaca y proveniente del Observatorio Físico Meteorológico de Davos (PMOD), dirigido entonces por el Dr. Moerikofer. Trajo consigo piranómetros esféricos de Bellani (también llamados lucímetros a destilación), equipos que había estudiado detalladamente con la colaboración de Hugo Wierzejewski, desarrollando una teoría para un instrumento dotado de globo oscuro. Siguió a esto una nueva serie de instalaciones de piranógrafos en diferentes lugares del país, lo que significó un esfuerzo encomiable.

Mientras tanto, el interés por el valor de la constante solar motivó otros trabajos, como los que llevó adelante en Pilar, La Quiaca y Mina Aguilar el Dr. Kurt Wegener con un instrumento construido por él (Wegener K., 1951). Era hermano de Alfred, quien propuso la teoría de la deriva continental.

En 1957, siendo director del SMN el Dr. Rolando García y Director de Investigaciones el licenciado Claudio Martínez, se creó el Instituto de Física de la Atmósfera (IFA) destinado al estudio de las nubes, quedando a cargo del Dr. Iribarne, quien llamó a colaborar al Dr. Cicchini.

En el IFA se hacían mediciones de rutina con pirgeómetros y balances introducidos por Iribarne y la licenciada Vasino. El objetivo fundamental perseguido en esta etapa fue mejorar la

calidad de los datos que se obtenían de las estaciones del SMN; al no poder encarar esto en la totalidad de las ya instaladas se decidió poner en funcionamiento 5 estaciones de primera clase con el instrumental existente (se recuerda de esa época los trabajos de Chebli Murad y Taboquini, como así también la siempre eficiente colaboración de la señora Lila Kuen).

Período 1960 – 1970.

Mientras tanto, en 1960 el Dr. Prohaska pasó a trabajar en el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) como jefe de la Unidad Agrometeorológica. Tras su alejamiento, queda a cargo el ingeniero agrónomo Roberto Ruggiero.

Alrededor de 1963 se creó la Red Nacional de Estaciones Agrometeorológicas en el INTA, quedando a cargo de Ruggiero, con la colaboración estrecha del ingeniero agrónomo Guillermo Juárez y de los señores Alberto Rodríguez Sans y Wenceslao Pesek, la instalación de 50 estaciones. Tras normalizar el instrumental ya existente, se montaron aproximadamente 30 piranógrafos bimetálicos (FUESS y SIAP) y una veintena de lucímetros de Bellani; la información adquirida era enviada al SMN en base a un convenio de cooperación.

En 1964 esta institución instala y comienza a operar en seis estaciones piranómetros termoelectrónicos KIPP & ZONEN modelo CM5, lo que disminuyó sensiblemente la incertidumbre de las mediciones (del orden del 5 %), acoplados a registradores potenciométricos con registro continuo en bandas de papel, cuya lectura e integración implicaba un trabajo de planimetría considerable, que provocaba una marcada demora en la disponibilidad de la información, demandando un elevado número de horas-hombre y generando una cierta cuota de errores. Contó para la calibración de los piranómetros con un pirheliómetro de compensación de Ångström.

Sucedió a Cicchini en el IFA el Dr. Javier Lacasse, quien impulsó los trabajos de solarimetría aprovechando la posibilidad de utilizar fondos de la Comisión Nacional para el Año Internacional del Sol Quiet (CNAISQ). En esa época se contrató a los licenciados Rodolfo Fernández y Mercedes Carazo, quienes encararon un análisis de los datos de irradiación obtenidos en las estaciones del SMN que disponían de instrumental termoelectrónico, contando con el asesoramiento del Dr. Kurt Woelken y la colaboración del licenciado Ernesto Crivelli. Establecieron así diferentes tipos de correlaciones, tanto lineales como cuadráticas, entre los valores promedio de la irradiación global y los de heliofanía para esas ubicaciones.

Carazo y Fernández fueron invitados en 1969 por el padre Carlos Esponda S.J. a realizar mediciones de irradiancia directa con un pirheliómetro Linke-Feussner (fabricado por la empresa KIPP & ZONEN, carente de seguimiento) en el Observatorio de Física Cósmica de San Miguel, por ese entonces en manos de los jesuitas, siendo su director el padre Mariano Castex S.J.. Éste les encomendó organizar un Departamento de Radiación Solar al tiempo que asumió la presidencia de la Comisión Nacional de Estudios Geo-Heliofísicos (CNEGH), creada en el año 1968. Esta comisión se constituyó como transformación de la CNAISQ, la que había sido a su vez creada para realizar estudios solares en el año de mayor calma en su actividad (1964-1965) y canalizar los fondos internacionales disponibles para realizar observaciones y estudios en el hemisferio sur.

Período 1970 – 1980.

La designación del OFCSM como observatorio piloto de la CNEGH (desde entonces denominado Observatorio Nacional de Física Cósmica) permitió vivir una etapa de notable crecimiento, convirtiéndose en una verdadera isla, desde el punto de vista científico-técnico y social, dentro de la situación imperante en el país bajo el gobierno de facto, contándose con importantes partidas presupuestarias que permitieron equipar a una docena de grupos con excelente instrumentación.

En muy poco tiempo se incorporaron al nuevo Departamento de Radiación Solar y Meteorología Ernesto Crivelli y el licenciado Horacio Abeledo, como así también un grupo de técnicos jóvenes integrado por Beatriz y Leonardo Becker, Silvia Barroso, Jorge Rohde, Susana Gross, Graciela Renzini y Miguel A. Pedregal quienes, bajo la conducción de Agustín Rela, montaron una importante infraestructura destinada a la medición rutinaria de las irradiancias directa, difusa y global y la calibración de instrumental en campo, contando para ello con un pirheliómetro de compensación de Ångström (el que fue llevado a contrastar en 1971 por Carazo y Abeledo en el Centro Mundial de Calibración de Davos, el que debutaba en esa función por mandato de la OMM). Las mediciones meteorológicas siguieron desarrollándose a cargo de los hermanos Julio y Jaime Goldin, con la colaboración de Carlos Oliva.

Para ese entonces, el licenciado Jorge Guerrero, jefe de la División Helioenergética del Departamento de Investigaciones Aplicadas, requirió información de irradiación solar de todo el país para utilizarlos con fines energéticos. Al no existir los mismos, Crivelli, Fernández, Carazo y Abeledo se dedicaron a estudiar la posibilidad de estimarla utilizando las correlaciones entre los promedios de la irradiación global y los de la heliofanía, analizando la influencia de la altura, para establecer a nivel nacional las cartas con la distribución espacial de la energía solar (Kurlat y Fernández, 1970; Crivelli y Abeledo, 1971; Abeledo *et al.*, 1973).

Teniendo en cuenta además el Atlas Climático de la República Argentina publicado en 1960 por el SMN, este trabajo desembocó en la elaboración de 12 mapas mensuales y uno anual (Crivelli y Pedregal, 1972) los que, si bien fueron un aporte considerable y casi el único vigente durante más de 15 años, hicieron evidente la necesidad de realizar mediciones con fines energéticos. La unidad utilizada por entonces para expresar la energía recibida por unidad de área era la caloría por centímetro cuadrado que, en homenaje al investigador del Smithsonian ya mencionado, se denominaba Langley; en estas cartas, la irradiación solar global media mensual estaba expresada en kcal/cm²/mes.

En 1971, habiendo reemplazado Crivelli a Fernández en la jefatura del departamento, se incorporaron la licenciada Ida Nollman y Roque Lopardo para montar un laboratorio de calibraciones, y un grupo de ingenieros para dar apoyo al inicio de las tareas de desarrollo de equipos y sensores para la medición de la irradiación solar.

Comenzó a gestarse la idea de una Red de Relevamiento, equipada con instrumental confiable y de bajo costo, que redujera la intervención humana en la adquisición y procesamiento de los datos, proyecto que se presentó a

consideración de la Organización de Estados Americanos (OEA) para obtener financiación. Se informó del mismo en la reunión llevada a cabo en Vaquerías (Córdoba) en diciembre de 1975, la que puede ser considerada como la primera de la Asociación Argentina de Energía Solar (ASADES).

Es necesario destacar aquí que este grupo de la CNEGH ha sido probablemente en su momento el más importante de Latinoamérica, tanto por el personal calificado que lo integraba como por el instrumental con que contaba. Fueron más de seis años ininterrumpidos de medición de la irradiancia solar directa, difusa, global, balance, espectral y ultravioleta, generándose un invaluable paquete de datos de excelente calidad, información que, en la debacle y abandono que siguió al cierre del Departamento y a la cesantía de la mayoría de sus miembros como consecuencia del golpe de estado de 1976, se perdió al igual que la mayor parte de los informes técnicos internos. De hecho, el ONFCSM vio reducido drásticamente su personal y el número de grupos de trabajo.

Mientras tanto, el Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la OEA aprobó el “*Proyecto Especial N° 10: Aprovechamiento de la Energía Solar*” y dentro de él, al Proyecto de Relevamiento Solarimétrico (cabe acotar que esta Organización lo apoyó a lo largo de 10 años). Como consecuencia de ello, Rodolfo Fernández retomó la jefatura del grupo, contando con la colaboración de la ingeniera agrónoma Mónica García y de Roque Lopardo. Se llevó a cabo inicialmente una clasificación climática y fitogeográfica del país con el fin de determinar la ubicación de las estaciones de la red (García y Fernández, 1978); se así ubicaron zonas que resultaban recomendables para la instalación, pero no siempre pudieron cumplirse debido a la falta de la infraestructura necesaria.

Simultáneamente se realizó un estudio técnico-económico de los posibles instrumentos a integrar la Red Solarimétrica, analizándose distintas opciones para los equipos de medición y lectura e integración diaria de la información adquirida (Lopardo y Fernández, 1978), buscando mejorar la incerteza de los equipos y reducir las tareas de adquisición y procesamiento de los datos (en ese entonces se planteaba medir la insolación solar global diaria).

De entre los existentes en ese momento se eligió finalmente un sensor fotovoltaico de fabricación en serie en los Estados Unidos de Norteamérica, marca RHO SIGMA modelo 1008. El elemento sensible era una oblea de silicio monocristalino; si bien la señal de corriente de estos sensores depende de la temperatura, ello es fácilmente compensable con un circuito a termistor. La incerteza de los mismos era del 6%.

Finalmente, se adquirió una computadora para el procesamiento de la información y un patrón absoluto para la calibración del instrumental, un pirheliómetro a cavidad (PACRAD) desarrollado por J. M. Kendall y Martin Berdahl (Kendall, 1969) y fabricado por la empresa TMI, similar al del SMN (desde entonces, el pirheliómetro de compensación de Ångström pasó a ser considerado como patrón secundario). Periódicamente estos pirheliómetros deben ser intercomparados, lo cual se lleva a cabo en los Centros Regionales de Radiación (CRR) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y cada cinco años en el Centro Mundial de Radiación (PMOD/WRC) ubicado en Davos, Suiza, en donde se encuentra un conjunto de seis pirheliómetros de referencia de diferentes diseños que

integran un Grupo Estándar Mundial (WSG). Cabe mencionar que el SMN es CRR de la Regional III de la OMM.

En mayo de 1977 Fernández siguió el camino de sus ex-compañeros, siendo cesanteado. Fue reemplazado por el licenciado Sandro Radicella, quien le imprimió al grupo una dinámica de trabajo sólida, asegurando la consolidación de la idea original sobre la base de los dos trabajos ya citados, incorporándose al grupo Gustavo Atienza. Se firmó una carta-intención con el INTA, quien prestó desde entonces una imprescindible colaboración en la atención de los equipos instalados en sus estaciones agrometeorológicas. Finalmente, en agosto de 1978 fue disuelta la CNEGH, “transfiriéndose a la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE) su personal y bienes muebles e inmuebles”; la actividad de la CNIE se desarrolló de ahí en más en el OFCSM, adquirido por la Fuerza Aérea Argentina y rebautizado como Centro Espacial San Miguel (CESM), transformándose muy pronto en el Centro de Investigaciones San Miguel (CISM).

La CNIE confió la dirección del proyecto a la Dra. Juana Cardoso; su personalidad abierta y democrática permitió mantener la política de funcionamiento del grupo, cumpliéndose progresivamente las etapas previstas en el plan original sin mayores variaciones.

En noviembre de 1978, y contando ya también con el apoyo de la entonces Secretaría de Estado de Ciencia y Tecnología (SECYT), el núcleo central de la Red Solarimétrica recaló en la CNIE, comenzando a instalarse las primeras estaciones de medición en el noroeste argentino (Abrapampa, Cerrillos, San Carlos, Rosario de la Frontera y Famaillá), publicando en julio de 1979 el primer número de un Boletín con datos de 5 estaciones de las 12 que estaban operando para ese entonces (vale la pena mencionar que llegaron a publicarse 13 Boletines semestrales, de distribución postal gratuita, con la información diaria de la irradiación global medida con sensores fotovoltaicos, expresada en kJ/m^2 , y de otros parámetros de interés; dado el volumen de trabajo de procesamiento, se sumó al equipo Graciela Vidales).

En 1977, luego de una breve permanencia en el Grupo de Energía Solar que comenzaba a reorganizar el ingeniero Rapallini con personal residual de diferentes departamentos de la disuelta CNEGH, Grossi Gallegos pasó a colaborar con la Dra. Cardoso, para finalmente asumir la dirección del proyecto en noviembre de 1982.

Período 1980 – 1990.

Desde su incorporación a la Red Solarimétrica, se procuró aumentar la difusión de las actividades de la red en diferentes congresos nacionales e internacionales y, cuando su base de datos lo permitió, publicar trabajos en revistas del país y del exterior; también fue su preocupación fortalecer las relaciones y la cooperación con otros grupos similares de países vecinos.

Por entonces la CNIE decidió la adquisición de 50 piranómetros termoelectrónicos marca EPPLEY modelo 8-48 "Black and White" (con una incerteza de 4-5 %) lo que obligó a la construcción de otros modelos de integradores aptos para una salida eléctrica del orden de los 10 milivolt.

En el año 1985 estaban instaladas en Argentina 41 estaciones de medición diaria de la irradiación solar global, a las que debían agregarse otras 3 operando en Bolivia en calidad de préstamo como parte de un convenio de cooperación (al poco

tiempo se instalaron otras 2 en el Paraguay). Esta cooperación incipiente permitió el trazado de las cartas mensuales de irradiación solar global media diarias para Bolivia (Grossi Gallegos *et al.*, 1987) y para Paraguay (Grossi Gallegos *et al.*, 1993). Las tareas constantes de recalibración de los sensores y de cambios de integradores fueron en esta etapa una tarea por demás ardua para el escaso número de integrantes del grupo.

La disponibilidad de estimaciones satelitales que daban información en un área con una cobertura espacial superior a la de la Red, llevó a solicitar las cintas originales (aprovechando la presencia del doctor Antonio Gagliardini en el laboratorio del doctor J. Tarpley, autor del modelo) para realizar una comparación con los valores diarios de tierra existentes en Argentina. Los errores estándar de estimación hallados fueron del 15 al 20% (Frulla *et al.*, 1988).

Dificultades de diferente tipo, tanto financieras como institucionales (restricción de fondos por parte de la CNIE, cese del apoyo de la SECYT, falta de pago de Argentina de su cuota a la OEA produciendo el abandono del proyecto y, finalmente, disolución de la CNIE en mayo de 1991), llevaron a que el número de estaciones de medición en operación se viera drásticamente reducido. Tras un pase *en comisión* por el Instituto de Clima y Agua del INTA Castelar y el alejamiento de parte del personal, el grupo de la Red Solarimétrica volvió a San Miguel bajo la dependencia del SMN.

Período 1990 – 2000.

En vista de esto, y pensando en darle una salida concreta y útil al esfuerzo de tantos años, se consideró que había llegado el momento de encarar la elaboración de las cartas mensuales con la distribución espacial de la irradiación solar global recibida sobre un plano horizontal, objetivo que fuera el origen de este proyecto.

Como paso previo, fueron consistidos y depurados todos los datos diarios de irradiación global y de heliofanía, utilizando un programa desarrollado a tal efecto por el ingeniero Alejandro Roberti (Roberti *et al.*, 2000). Fue un trabajo inmenso, realizado por Graciela Renzini, Manuel Peralta y Virginia Sierra.

Con el fin de complementar la información obtenida en superficie con estimaciones satelitales de libre disponibilidad en NASA, se compararon una vez más con datos medios de la Red Solarimétrica obtenidos en algunas zonas del país, encontrando un ajuste más que razonable en las regiones planas (Grossi Gallegos, 1999).

Como el número de estaciones con una cobertura aconsejable del territorio era escasa y se hacía necesario extrapolar valores, se estudiaron las condiciones de la variabilidad espacial de la irradiación global (Grossi Gallegos y Lopardo, 1988) y de la heliofanía relativa (Grossi Gallegos y Atienza, 1992) mediante el análisis del comportamiento de la función estructura; tuvo que establecerse el nivel de confianza de los promedios mensuales de la irradiación solar global diaria y verificar la estabilidad del comportamiento de los sensores utilizados.

Una vez descartada la variabilidad secular de los parámetros de interés y establecidas las constantes de la regresión entre los promedios del índice de claridad (cociente entre la irradiación recibida y la extraterrestre) y la heliofanía relativa (cociente entre las horas de insolación registradas en los

heliógrafos y las horas teóricas), se pudieron utilizar para calcular, en base a los promedios de heliofanía de los últimos 20 o 30 años, los promedios mensuales de irradiación global en las estaciones de registro, de manera de completar el banco de datos a utilizar para la construcción de las cartas mensuales. Se usaron así los promedios de las 28 estaciones de medición y de los 24 estimados.

Fue posible terminar en 1997 un conjunto de 12 cartas mensuales y una anual con la distribución espacial de los promedios de la irradiación solar global diaria recibida sobre un plano horizontal en la República Argentina, las que fueron presentadas como parte de una tesis de doctorado en la Universidad Nacional de Luján (UNLu) y luego publicadas en una de las revistas de la ASADES (Grossi Gallegos, 1998a y b). Las unidades utilizadas fueron kWh/m², pensando en el uso a dar a las cartas en el diseño de sistemas de aprovechamiento fotovoltaico.

Esta experiencia habilitó al autor para desempeñarse como Consultor Técnico en el trazado de los mapas mensuales con la distribución espacial de los promedios de la irradiación solar global y de las horas de insolación del Brasil (Tiba *et al.*, 1999).

De esos años en el SMN debe destacarse la labor constante y dedicada del ingeniero Máximo Guinzburg, en el Departamento de Vigilancia de la Atmósfera y Geofísica, y la amplia colaboración brindada por José Ares, del Banco de Datos. Resultó esencial para el trabajo de análisis de series temporales la presencia en el grupo de la licenciada María Isabel Spreafichi.

A la par, y con el fin de abaratar costos y facilitar la medición del recurso solar en Argentina, el Grupo de Energía Solar de la Comisión Nacional de Energía Atómica desarrolló un sensor fotovoltaico cuyo comportamiento fue ensayado estadísticamente con referencia a piranómetros termoelectrónicos por la División Radiación Solar San Miguel del SMN, determinando para sus valores diarios errores que no superaron el 5 % (Bolzi *et al.*, 1999).

Período 2000 – 2020.

Teniendo en cuenta la necesidad de mejorar la calidad de las mediciones de la irradiación solar en Iberoamérica con el fin de reducir la incerteza en el conocimiento del recurso y hacer más competitivo su aprovechamiento, en la XXIX Reunión del Consejo Técnico Directivo del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) celebrada en Madrid el día 1 de junio de 1998, fue aprobada la creación de la Red Iberoamericana de Solarimetría (RISOL) a propuesta del Coordinador Internacional del *Subprograma VI. Nuevas Fuentes y Conservación de la Energía*, en la que se desempeñó como Coordinador Internacional el autor de este trabajo desde el 1° de junio de 1998 hasta el 31 de mayo de 2002.

Los objetivos planteados para esta nueva Red Temática fueron (a) procurar el rescate de la información solarimétrica existente en los países iberoamericanos, procediendo a clasificarla y calificarla de acuerdo con su procedencia; (b) promover la discusión y la unificación de las metodologías de obtención, tratamiento y almacenamiento de los datos y el intercambio de experiencias; (c) promover la capacitación de recursos humanos en el tema de la evaluación del recurso solar y de la posterior utilización de la información, como así también del mantenimiento del instrumental; (d) promover la

elaboración de proyectos tendientes a mejorar calidad de la información y la cobertura espacial y temporal de las mediciones y (e) procurar la elaboración de cartas preliminares de la distribución de la radiación global a nivel del suelo (Grossi Gallegos, 2001).

Como la difusión de las cartas de los promedios de la irradiación solar global diaria recibida sobre un plano horizontal en la República Argentina fue muy limitada y no cumplía con el objetivo propuesto, fueron incluidas en un libro que editó el Departamento de Ciencias Básicas de la UNLu en el año 2002 (Grossi Gallegos, 2002).

Finalmente, contando nuevamente con el apoyo del Departamento de Ciencias Básicas de la UNLu y, además, de la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (SeCyT) del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, con su Programa de Energía y Transporte de la Dirección Nacional de Programas y Proyectos Especiales (DNPPE), el 22 de mayo de 2007 fue presentado el “Atlas de Energía Solar de la República Argentina” en el que se incorporaron las cartas de irradiación solar y las de heliofanía (Grossi Gallegos y Righini, 2007). Si bien aparecieron como autores de este Atlas sólo 2 personas, queda claro que detrás de ellas estaban todos los observadores que diariamente produjeron los centenares de miles de datos que fueron la base de información necesaria para su confección.

Las cartas fueron cedidas al Sistema de Información Geográfica de la Secretaría de Energía de la Nación para su publicación en el visor de mapas y se concretó su disponibilidad. Pero al cabo de un corto tiempo, la mezquindad de un funcionario hizo que fueran reemplazadas por información estimada provista por IRENA y NREL, ignorando el esfuerzo económico y humano del país en todos los años de instalación del instrumental, obtención y elaboración de los datos y, finalmente, en el trazado de las cartas. *“Las estimaciones que emplean imágenes satelitales son una herramienta valiosísima en la evaluación del recurso solar. Pero no son mágicas: su empleo debe evaluarse cuidadosamente mediante la verificación de los niveles estimados con los medidos en estaciones seleccionadas en tierra. Confiar ciegamente en sus pronósticos y en su capacidad de resolución espacial puede llevar a cometer errores importantes, tanto en la selección de los sitios de instalación como en la previsión de la generación esperada”* (Righini y Aristegui, 2014).

Mientras tanto, y viendo la suerte que había corrido tanto el grupo de trabajo como la actividad instrumental (la Red Solarimétrica se había reducido dramáticamente en el año 2001 hasta contabilizarse sólo 5 estaciones), se propuso al Director-Decano del Departamento de Ciencias Básicas de la UNLu la creación de un Grupo de Estudios de la Radiación Solar (GERSolar) en la División Física, propuesta que fue aprobada el 2 de septiembre de 2002.

La Red Solarimétrica Regional que el GERSolar ha instalado en la región de mayor producción agrícola del país viene a cubrir en parte esta necesidad: contar con una red sostenible, con procedimientos de tratamiento de datos y calibración de equipos que vuelva confiable la información recolectada (Righini y Aristegui, 2013). De las 9 estaciones en operación, 8 están ubicadas en instalaciones del INTA y son atendidas por su personal.

Los sensores operados son piranómetros termoelectrónicos de primera clase (KIPP & ZONEN modelos CMP 11 y CMP 21) que están acoplados a adquirentes automáticos de la señal eléctrica marca CAMPBELL, los que permiten reducir el tiempo de captura y su posterior integración en bases minutas. Los instrumentos han sido calibrados en el laboratorio de radiación solar del GERSolar, en la UNLu, en donde se cuenta con un patrón secundario (piranómetro de primera clase marca KIPP & ZONEN modelo CMP 21) y con un patrón autocalibrable (pirheliómetro de cavidad TMI) contrastado en Davos.

El GERSolar dispone además de un laboratorio de calibración de piranómetros "indoor". Ha sido diseñado para dar una rápida respuesta a las necesidades de calibración de una red y de otros actores interesados en el uso adecuado de la información que brindan los sensores piranométricos. Como patrón de referencia se usa un CMP22 de la firma KIPP & ZONEN y una lámpara cuya distribución espectral no es igual a la solar, pero presenta características similares en el rango visible. Si bien la misma está sujeta a procesos de degradación en lo que hace a su flujo radiante, brillo y espectro de emisión, resulta apta para calibraciones que implican comparaciones entre el desempeño del piranómetro patrón y el instrumento a calibrar (Righini y Aristegui, 2015). Con los datos de irradiación global integrados en forma diaria a lo largo de cada mes y para todas las estaciones, se confecciona el mapa mensual de irradiación diaria media mensual para la zona mediante kriging que se publica en el sitio web del grupo.

Por otra parte, el SMN mantiene 6 estaciones de medición de la irradiación solar global y difusa, los que son calibrados periódicamente contra un pirheliómetro marca EPPLEY modelo AHF 30112 contrastado en Davos con la referencia del WRC; los valores diarios son publicados bimestralmente (Nollas, 2020).

4. CONCLUSION

Para resaltar la importancia y utilidad de la medición local vale la pena recordar que en el año 2009 la UNLu, a través del GERSolar, asesoró a una empresa para la selección de sitios apropiados para la instalación de una planta de generación fotovoltaica de 5 MW de potencia nominal, utilizando para ello datos diarios medidos por la ex-Red Solarimétrica y teniendo en cuenta otras consideraciones. La zona de emplazamiento aconsejada fue San Juan y allí, Cañada Honda fue el sitio elegido por la empresa (en ese momento EMGASUD, hoy 360 ENERGY S.A.).

Como resultado de la evaluación, entregada en junio de 2009, GERSolar estimó que anualmente se recolectarían en promedio sobre un plano horizontal $2,1 \text{ MWh/m}^2$, con una incerteza de 6% ($2,06 \pm 0,12 \text{ MWh/m}^2$). La estación meteorológica situada en el parque midió desde julio de 2012 a junio de 2013 (1 año) $1,95 \text{ MWh/m}^2$ (inferior a 5,4% de lo estimado, pero dentro de los márgenes de la incerteza calculada).

Además, mediante el cálculo del ángulo óptimo realizado para el parque solar fotovoltaico Cañada Honda, el GERSolar estimó que sobre un plano inclinado $26,86^\circ$ se recibirían $2,24 \text{ MWh/m}^2$ con una incerteza no inferior al 10%. La irradiación medida en el sitio desde julio de 2012 a junio de 2013 (1 año) sobre un ángulo de 28° fue $2,22 \text{ MWh/m}^2$, valor inferior en un 0,72% de lo estimado.

Debe destacarse que el GERSolar es el único grupo en el país que tiene como objetivo mejorar el conocimiento de la distribución espacio-temporal de la irradiación solar global incidente sobre la superficie terrestre a fin de optimizar el diseño de sistemas de aprovechamiento de esta fuente de energía, asignándose a la capacitación y difusión de la actividad una importante prioridad. Ya dispone de una versión preliminar de un nuevo Atlas de Radiación Solar de la Pampa Húmeda (Aristegui *et al.*, 2018).

La UNLu, el INTA, YPF Tecnología (Y-TEC) y la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica, a través del Fondo Argentino Sectorial (FONARSEC), participaron desde el año 2015 del Sistema Argentino de Evaluación de Energía Solar (ENARSOL) que planteaba la instalación de una treintena de estaciones que midieran no sólo la irradiación solar global sino también las componentes directa y difusa en todo el país.

Lamentablemente, de las estaciones instaladas no se reciben datos y, por decisiones administrativas, INTA tiene en su haber algo más de una decena de seguidores solares ("trackeadores"), con sus correspondientes esferas sombreadoras y medidores de radiación directa, y algo más de una veintena de piranómetros CMP11. Una característica destacable de estos seguidores KIPP & ZONEN modelo SOLYS 2 es el receptor GPS integrado para configurar automáticamente los datos de ubicación y hora después de la instalación; no requiere de una computadora ni de software para la configuración. Le resulta sumamente doloroso y frustrante al autor de este artículo reconocer que un presupuesto más que interesante destinado a este proyecto (del orden de un millón de dólares) se haya desvanecido por razones varias, razones que no corresponde analizar en este lugar.

Para terminar, es necesario resaltar que la medición de la irradiancia solar de manera continua apunta a dos fines: por un lado, conocer la disponibilidad energética, para lo cual pueden ser suficientes una limitada cantidad de años a determinar localmente a partir del análisis de las series temporales (Grossi Gallegos *et al.*, 2014; Righini *et al.*, 2014); por otro lado, analizar la posible variación a través del tiempo de los totales anuales (lo que estaría vinculado con un posible cambio climático) y la ocurrencia de variaciones rápidas que pueden afectar la generación energética (Aristegui *et al.*, 2019).

El mantenimiento activo de las estaciones de una red solarimétrica es un desafío abierto para el país y el autor considera que tal esfuerzo no puede depender de una sola institución. Si bien es cierto que la radiación solar es medida en muchas estaciones meteorológicas, ya sea pertenecientes al SMN, al INTA, a Universidades Nacionales o a innumerables usuarios particulares vinculados con la actividad agropecuaria, no existe un organismo que centralice la información, verifique la consistencia de los datos y calibre regularmente los sensores.

La medición de la irradiancia solar ha sufrido los vaivenes propios de un país como Argentina, a lo que se agrega la falta de un organismo totalmente dedicado al tema o de un Laboratorio Nacional dentro de un organismo. Se ha tratado a la radiación solar como una variable meteorológica más y no suele asignársele la importancia de la instrumentación utilizada, de la longitud de las series y del control de calidad

de la información obtenida, como así también la de los productos generados.

No es posible cerrar esta breve historia sin lamentar el hecho de que, habiendo sido fundado en 1935 por la Compañía de Jesús y actuado como sede de buena parte de las actividades de medición de la irradiación solar a las que se hizo referencia, el Observatorio de Física Cósmica de San Miguel se extingue lentamente ante la indiferencia de la comunidad científica y de las autoridades.

AGRADECIMIENTOS

Sin que el orden de mención signifique diferenciación alguna en el grado de reconocimiento, el autor quiere agradecer a todas las personas que aportaron datos que le permitieron reconstruir esta historia que puede presentar las inexactitudes y omisiones propias de los recuerdos de los informantes. Lo que se ha buscado, al menos de esta manera, fue hacer justicia con todos aquéllos que con su esfuerzo permitieron esta realidad. Se trata de María Victoria Carrilho, Ethel López Rossi, Erich Lichtenstein, Silvia Spinelli, Kurt Woelken, Otto Schneider, Lila Kuen, José Hoffmann, Nisim Gerade, Alunni, Adulio Cicchini, Claudio Martínez, Javier Lacasse, Roberto Ruggiero, Guillermo Juárez y Rodolfo Fernández.

REFERENCIAS

- Abeledo H., Carazo de Kurlat M. y Fernández R. (1973). Relación entre la duración relativa de la insolación y la radiación global en la Argentina. *Meteorológica*, vol. IV, No. 1, 2, 3, pp. 31-43.
- Aristegui R., Righini R., Stern V., Lell J. y Bazán S. (2018) Nuevo Atlas de Radiación Solar de la Pampa Húmeda Argentina: Resultados preliminares. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 22, 7.11-7.19.
- Aristegui R., Iturbide P., Stern V., Lell J. y Righini R. (2019) Variabilidad de corto plazo y valores extremos de la irradiancia solar en la pampa húmeda argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 23, 07.19-07.30.
- Boletín de la Red Solarimétrica. República Argentina (1980) Anuario 1979. Departamento de Energía No Convencional, División Energía Solar, CNIE
- Bolzi C. G., Durán J. C., Dursi O., Renzini G. y Grossi Gallegos H. (1999) Construcción y ensayo de piranómetros fotovoltaicos de bajo costo desarrollados en la CNEA. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 3, 1, 04.29-04.32.
- Clayton H. H. (1916) El efecto de las variaciones de período corto de la radiación solar en la atmósfera de la tierra. *Boletín Mensual de la O.M.A.*, junio de 1916.
- Crivelli E. y Abeledo H. (1971). Posibilidades de trazar cartas de radiación global en la Argentina a partir de datos de heliofanía. *Meteorológica*, vol. II, pp. 86-92.
- Crivelli E. y Pedregal M. A. (1972). Cartas de radiación solar global de la República Argentina. *Meteorológica*, vol. III, N° 1, 2, 3, pp.80-97.
- Duffie J. A. and Beckman W. A. (2006) *Solar Engineering of Thermal Processes*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. 907 p.
- Frulla L, Gagliardini D., Grossi Gallegos H., Lopardo R. and Tarpley J. (1988) Incident solar radiation on Argentina from the geostationary satellite GOES: comparison with ground measurements. *Solar Energy* 41, 1, 61-69.
- García M. y Fernández R. (1978). Red de mediciones solarimétricas en Argentina. En *Atas do 2º Congresso Latino-Americano de Energia Solar*, vol. I, pp. 43-59, João Pessoa, Brasil.
- Grossi Gallegos H., Atienza G., García M., Renzini G., Peralta M., Saravia Unzueta I. y Arteaga Tamayo A. (1987) Estimación de la distribución de la radiación solar global en la República de Bolivia. En *Actas de la 12a. Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energía Solar*, Buenos Aires, vol. I, pp. 83-93.
- Grossi Gallegos H. and Lopardo R. (1988) Spatial variability of the global solar radiation obtained by the Solarimetric Network in the Argentine Pampa Humeda. *Solar Energy*, 40, 5, 397-404.
- Grossi Gallegos H. y Atienza G. (1992), Análisis del comportamiento espacial de los datos de radiación solar en la Pampa Húmeda. En *Memoria del IV Congreso Interamericano y I Iberoamericano de Meteorología*, Cáceres y Salamanca, España, pp. 216-220.
- Grossi Gallegos H., Atienza G. y Granada de Castel M. E. (1993) La medición de la radiación solar en la República del Paraguay. En *Actas del 7mo. Congreso Latinoamericano de Energía Solar - 16a. Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*, La Plata, Buenos Aires, Argentina, tomo I, pp. 303-308.
- Grossi Gallegos H. (1998a) Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. I. Análisis de la información. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4, 119-123.
- Grossi Gallegos H. (1998b) Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. II. Cartas de radiación. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5, 33-42.
- Grossi Gallegos H. (1999) Comparación de los valores satelitales del "Surface Solar Energy (SSE) Data Set Version 1.0" con datos de tierra de la Red Solarimétrica. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 6, 1-6.
- Grossi Gallegos, H. (2001) La Red Iberoamericana de Solarimetría en su tercer año de existencia. Presentado en la Primer Conferencia Iberoamericana de Energías Renovables - III Congreso Latinoamericano y del Caribe de Cocinas Solares realizado en La Ceiba, Honduras, 26 al 28 de marzo de 2001 e incluido en CD-ROM editado por el Subprograma VI del Programa CYTED, Salta, Argentina (DOI: 10.13140/RG.2.1.3037.2723).
- Grossi Gallegos H. (2002) *Notas sobre radiación solar*. Departamento de Ciencias Básicas de la UNLu, 225 páginas (ISBN 987-9285-19-0), Registro de la Propiedad Intelectual No. 213724 del 26 de septiembre de 2002.
- Grossi Gallegos H. y Righini R. (2007) *Atlas de energía solar de la República Argentina*. Universidad Nacional de Luján y Secretaría de Ciencia y Tecnología, Buenos Aires, Argentina, 74 páginas + 1 CD-ROM, mayo de 2007 (ISBN 978-987-9285-36-7).
- Grossi Gallegos H., Coquet E. y Spreafichi M. I. (2014) Análisis de las series temporales de irradiación solar global en vista de la utilización del sol como una fuente de energía. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 33, 7-14.
- Grossi Gallegos H. y Raichijk C. (2018) *Radiación solar: medición y modelado*. 1a ed. ilustrada. Buenos Aires, Argentina. edUTecNe-ASADES, ISBN 978-987-1896-88-2, 294 p.
- HCNA (1935) Honorable Congreso de la Nación Argentina, Ley 12252/1935 (B.O. 18 octubre 1935) Creación de la Dirección Nacional de Hidrometeorología. Derogada por

- Decreto/Ley 10131/1945 del P.E.N. (B.O. 19 mayo 1945) Creación del Servicio Meteorológico Nacional.
- Hoxmark G. (1925) Solar radiation and the weekly forecast of the Argentine meteorological service. *Smithsonian Miscellaneous Collections*, **77**, 7, 1-23. Disponible en <https://repository.si.edu/handle/10088/23654>
- Kendall J. M. (1968) *The JPL Standard Total Radiation Absolute Radiometer*, Technical Report 32-1263. Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Calif., May 15, 1968.
- Kurlat M. C. de y Fernández R. (1970). Radiación solar en la Argentina. *Acta Scientifica* N° 19, San Miguel, Argentina, 55 pp.
- Lean, J. L. (2018). Estimating solar irradiance since 850 CE. *Earth and Space Science*, **5**, 133-149. <https://doi.org/10.1002/2017EA000357>.
- Lopardo R. y Fernández R. (1978). Estudio técnico - económico del instrumental necesario para la Red Solarimétrica en la Argentina. En *Atas do 2° Congresso Latino-americano de Energia Solar*, João Pessoa, Paraíba, Brasil, vol. I, pp. 113-120.
- Nollas F. M. (2020) Boletín bimensual de radiación solar global y difusa de las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional: Noviembre-Diciembre 2019 (<http://hdl.handle.net/20.500.12160/1261>).
- Righini R. y Aristegui R. (2013) Análisis de datos de la Red Solarimétrica Pampeana. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **17**, 1137-1146.
- Righini R. y Aristegui R. (2014). Plantas fotovoltaicas: perjuicios por no evaluar convenientemente el recurso solar. *Actas de la XXXIX Reunión de Trabajo de la ASADES*, Vol. 4, pp. 08.69-08.76 (2014).
- Righini R. y Aristegui R. (2015) Caracterización del nuevo laboratorio de medición del GERSolar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **3**, 11.01-11.09.
- Roberti A., Renzini G. y Grossi Gallegos H. (2000) Desarrollo de un software capaz de correlacionar y consistir datos de irradiación solar y heliofanía. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **4**, 2, 11.37-11.38.
- Robinson N., editor (1966) *Solar Radiation*. Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 346 p.
- SMN (2005) *133 años de meteorología en el país. República Argentina*. ISBN 987-22663-0-1. Buenos Aires, Dic. 2005.
- Tiba C., Grossi Gallegos H., Fraidenraich N. and Lyra F. (1999) On the development of spatial/temporal solar radiation maps: a Brazilian case study. *Renewable Energy* **18**, 393-408.
- Wegener K. (1951) Verificación experimental de la constante solar. *METEOROS*, Año 1, No. 2-3, junio de 1951, pp. 171-182.