

VARIACION SECULAR DE LA RADIACION GLOBAL EN LA ARGENTINA: PRIMEROS RESULTADOS

H. Grossi Gallegos* y G. Atienza

Red Solarimétrica, Servicio Meteorológico Nacional
Avda. Mitre 3100, (1663) San Miguel, Buenos Aires
Telefax: (54-1) 455 6762

RESUMEN

Motivados por los resultados hallados en Australia, los que parecen descartar la reducción estadísticamente significativa hallada en los niveles de radiación recibidos en el Hemisferio Norte a lo largo de los años 1958 a 1985, en este trabajo se analizó la información de radiación global proveniente de las estaciones de la Red Solarimétrica ubicadas en Cerrillos, Rafaela, Paraná y San Miguel, como así también los datos de heliofanía relativa existentes en ellas. Los resultados hallados muestran diferentes comportamientos en el tiempo si bien los coeficientes de correlación son muy bajos, explicando un reducido porcentaje de la variación observada. En algunas de las estaciones la incerteza instrumental impide asegurar la existencia de una variación secular. El aumento de la estadística de heliofanía reduce la tendencia observada, si bien este parámetro no se comporta de manera similar a la radiación global. Como conclusión preliminar es posible afirmar que tampoco en estas estaciones del Hemisferio Sur parecen registrarse cambios significativos.

INTRODUCCION

Como parte del Año Geofísico Internacional (IGY, 1957-1958) se originó la Red Mundial de Radiación (*World Radiation Network, WRN*) destinada a medir fundamentalmente la radiación global. Los instrumentos que se usarían, su calibración, el mantenimiento de los mismos y los métodos de reducción de los datos a utilizar en el programa fueron descriptos en detalle (1). Los resultados obtenidos son publicados regularmente desde 1964 por el Observatorio Geofísico Central de Voeikov, Leningrado, Rusia, en un Boletín Mensual financiado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

En 1983 se publicó un trabajo acerca de la distribución de la radiación solar global sobre la superficie terrestre, basándose en los registros de 221 piranómetros a termopila (2). Allí se analizaba la distribución espacial de los totales anuales de la radiación global correspondientes al año 1975, destacándose que los valores registrados sobre superficies de tierra no eran iguales en ambos hemisferios (los valores máximos se registraron en el Sur).

* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.

+ División Física, Dpto. de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján (UNLu),
Fax: (54-323) 25795, E-mail: grossi@unlu01.edu.ar.

VARIACION SECULAR DE LA RADIACION GLOBAL EN LA ARGENTINA: PRIMEROS RESULTADOS

H. Grossi Gallegos* y G. Atienza

Red Solarimétrica, Servicio Meteorológico Nacional
Avda. Mitre 3100, (1663) San Miguel, Buenos Aires
Telefax: (54-1) 455 6762

RESUMEN

Motivados por los resultados hallados en Australia, los que parecen descartar la reducción estadísticamente significativa hallada en los niveles de radiación recibidos en el Hemisferio Norte a lo largo de los años 1958 a 1985, en este trabajo se analizó la información de radiación global proveniente de las estaciones de la Red Solarimétrica ubicadas en Cerrillos, Rafaela, Paraná y San Miguel, como así también los datos de heliofanía relativa existentes en ellas. Los resultados hallados muestran diferentes comportamientos en el tiempo si bien los coeficientes de correlación son muy bajos, explicando un reducido porcentaje de la variación observada. En algunas de las estaciones la incerteza instrumental impide asegurar la existencia de una variación secular. El aumento de la estadística de heliofanía reduce la tendencia observada, si bien este parámetro no se comporta de manera similar a la radiación global. Como conclusión preliminar es posible afirmar que tampoco en estas estaciones del Hemisferio Sur parecen registrarse cambios significativos.

INTRODUCCION

Como parte del Año Geofísico Internacional (IGY, 1957-1958) se originó la Red Mundial de Radiación (*World Radiation Network, WRN*) destinada a medir fundamentalmente la radiación global. Los instrumentos que se usarían, su calibración, el mantenimiento de los mismos y los métodos de reducción de los datos a utilizar en el programa fueron descriptos en detalle (1). Los resultados obtenidos son publicados regularmente desde 1964 por el Observatorio Geofísico Central de Voeikov, Leningrado, Rusia, en un Boletín Mensual financiado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

En 1983 se publicó un trabajo acerca de la distribución de la radiación solar global sobre la superficie terrestre, basándose en los registros de 221 piranómetros a termopila (2). Allí se analizaba la distribución espacial de los totales anuales de la radiación global correspondientes al año 1975, destacándose que los valores registrados sobre superficies de tierra no eran iguales en ambos hemisferios (los valores máximos se registraron en el Sur).

* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.

+ División Física, Dpto. de Ciencias Básicas, Universidad Nacional de Luján (UNLu),
Fax: (54-323) 25795, E-mail: grossi@unlu01.edu.ar.

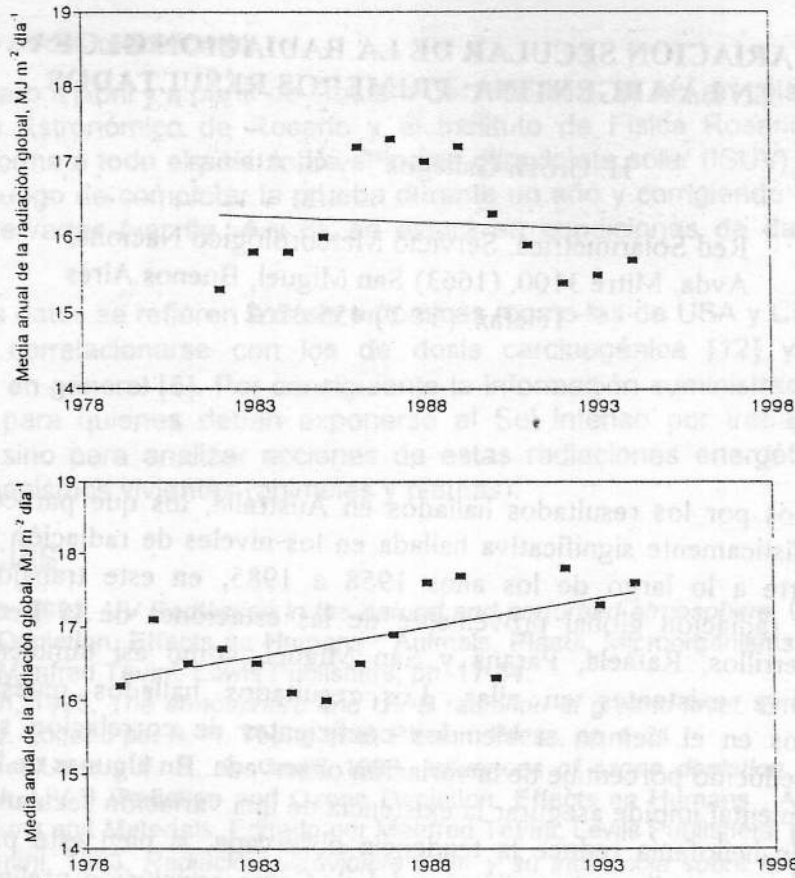


Figura 3. Variación secular en los promedios anuales de la radiación solar global diaria en Cerrillos y Rafaela, $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$. Las líneas de puntos representan las rectas trazadas con los parámetros de la tabla 3.

Se analizó también en las cuatro ubicaciones el comportamiento de uno de los parámetros tradicionalmente asociado a la medición de la radiación solar, esto es, la heliofanía relativa porcentual. Para los mismos años considerados se construyeron las series de los promedios anuales del valor diario del parámetro y se ajustó linealmente una posible regresión entre ellos y los años de medición. Los resultados obtenidos en el análisis se incluyen en la tabla 4.

Estación	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación (r^2)
Cerrillos	0,027	0,084
Rafaela	-0,066	0,012
Paraná	-0,029	0,143
San Miguel	-0,282	0,147

Tabla 4. Parámetros de la relación estadística entre los valores medios anuales de la heliofanía relativa diaria y el año de medición (el coeficiente de regresión tiene como unidades por ciento/año).

Estación	Ubicación	Altura	Sensor	Modelo	Integrado	Tipo	Período
Cerrillos	29°54'S 65°29'W	1250	Eppley	B&W	RELEVAR	Termec	1982-1994 (*)
Rafaela	31°17'S 61°33'W	100	Rho-Sigma	1008	SIDCON	5011	1979-1994
Paraná	31°50'S 60°31'W	110	Rho-Sigma	1008	SIDCON	5011	1979-1994
San Miguel	34°33'S 58°44'W	26	Rho-Sigma	1008	SIDCON	5011	1980-1994

(*) Del 1° de enero de 1982 al 1° de diciembre de 1983 operó un sensor fotovoltaico.

Tabla 1. Ubicación de las estaciones consideradas e información sobre los equipos de medición y los períodos de registro.

AÑO	CERRILLOS	RAFAELA	PARANA	SAN MIGUEL
1979	-	16.2	17.4	
1980	-	17.1	17.4	15.7
1981	-	16.5	18.7	15.6
1982	15.3	16.7	-	16.0
1983	15.8	16.5	17.0	15.3
1984	15.8	16.1	16.1	14.5
1985	16.0	16.0	15.8	14.6
1986	17.2	16.5	15.9	14.8
1987	17.3	16.9	16.3	15.5
1988	17.0	17.6	17.0	16.4
1989	17.2	17.7	17.1	16.5
1990	16.3	16.3	16.1	15.0
1991	15.9	-	15.8	15.2
1992	15.4	17.8	16.7	14.8
1993	15.5	17.3	15.9	14.3
1994	15.7	17.6	16.5	14.9

Tabla 2. Promedios anuales del valor diario de la radiación global en las estaciones consideradas ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

años de medición cuyos resultados gráficos se muestran en las figuras 2 y 3, mientras que los parámetros correspondientes a cada estación se incluyen en la tabla 3.

Estación	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación (r^2)	Ordenada en el origen
Cerrillos	-0,016	0,007	16,296
Rafaela	0,080	0,378	16,196
Paraná	-0,094	0,310	17,475
San Miguel	-0,046	0,094	15,642

Tabla 3. Parámetros de la relación estadística entre los valores medios anuales de la radiación global diaria ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$) y el año de medición (el coeficiente de regresión tiene como unidades $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y la ordenada en el origen $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

Posteriormente, en 1992, una nueva publicación analizó este comportamiento comparando las series de totales anuales correspondientes a los años 1958, 1965, 1975 y 1985 (3), ajustando matemáticamente la distribución latitudinal por tramos de curvas de tercer grado. En la figura 1 se muestra la curva computada correspondiente al año 1985 en la que se ha indicado la posición correspondiente a las estaciones de la Red Solarimétrica utilizadas en el presente trabajo.

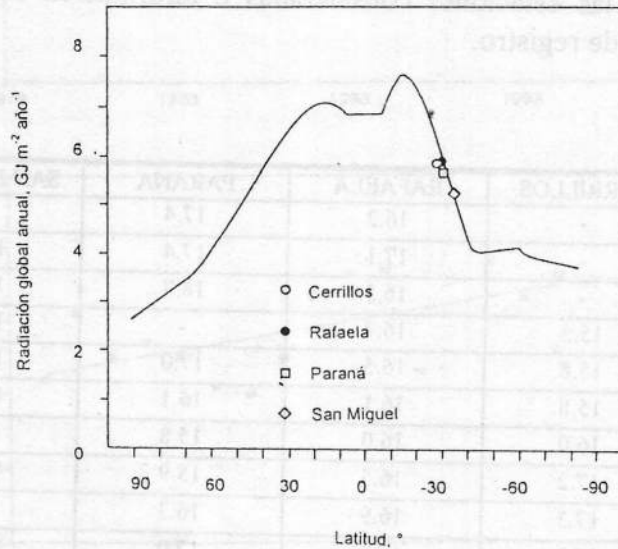


Figura 1. Ubicación de las estaciones de la Red Solarimétrica consideradas en este estudio en la curva computada de la distribución latitudinal de la radiación global anual correspondiente al año 1985.

En esta última publicación se asevera que un gran número de las comparaciones hechas entre los valores anuales de la radiación global medida con piranómetros termoelectricos en las estaciones de la WRN en los años considerados mostraron reducciones estadísticamente significativas que superan la incerteza esperada en las mediciones. Sobre las superficies cubiertas por tierra esta reducción entre 1958 y 1985 alcanzó en promedio al 5,3%, registrándose la mayor en la zona de latitudes intermedias del hemisferio Norte (entre 30° y 45° N).

En el trabajo mencionado no se tuvo en cuenta ninguna estación ubicada en América del Sur y sólo 10 del hemisferio Sur, todas ubicadas al Este del meridiano de Greenwich.

ANÁLISIS DE LA INFORMACION SOLAR

Se seleccionaron cuatro estaciones de la Red Solarimétrica que poseían más de 10 años de registros de destacable completitud y que se han destacado por la atención esmerada de sus operadores. En la tabla 1 se dan los detalles de las mismas y en la tabla 2, los promedios anuales de la radiación global diaria.

Con el fin de determinar la posible existencia de tendencias seculares en las series registradas se aplicó a las mismas un análisis de regresión lineal entre los promedios y los

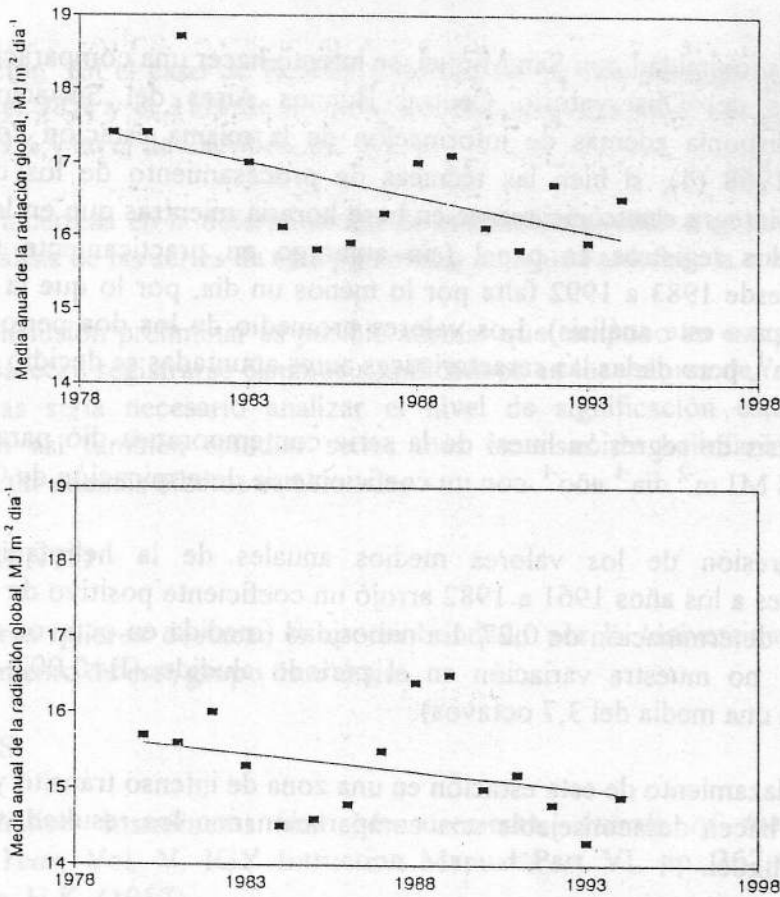


Figura 4. Variación secular en los promedios anuales de la radiación solar global diaria en Paraná y San Miguel, MJ m⁻² día⁻¹. Las líneas de puntos representan las rectas trazadas con los parámetros de la tabla 3.

Para analizar la posible influencia del aumento de la longitud de los registros en el tiempo, y al no contarse con esa posibilidad para los datos de radiación global, se tomaron 49 años de datos de heliofanía relativa disponibles en San Miguel. Se analizó la posible variación secular de la misma manera que antes, determinándose los parámetros que se indican en la tabla 5.

Estación	Coefficiente de regresión	Coefficiente de correlación (r ²)	Ordenada en el origen
San Miguel	-0,069	0,084	60,7

Tabla 5. Parámetros de la relación estadística entre los valores medios anuales de la heliofanía relativa diaria y el año de medición para una serie de 49 años (el coeficiente de regresión tiene como unidades por ciento/año).

Es evidente en este caso que, si bien la tendencia no cambia de signo, su valor absoluto es mucho menor. Las marcadas oscilaciones de los últimos años (observadas en todas las estaciones) se suavizan al incluir más datos anuales.

Dada la proximidad con San Miguel, se intentó hacer una comparación con los datos contemporáneos del Observatorio Central Buenos Aires del Servicio Meteorológico Nacional. Se disponía además de información de la misma estación correspondiente al período 1964-1968 (4), si bien las técnicas de procesamiento de los datos cambiaron: actualmente se integra electrónicamente en base horaria mientras que en la serie antigua se planimetraban los registros en papel (sin embargo en prácticamente todos los meses considerados desde 1983 a 1992 falta por lo menos un día, por lo que la muestra no es la más adecuada para este análisis). Los valores promedio de los dos períodos coinciden en $16,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, pero dadas las características antes apuntadas se decidió no integrarlos.

El análisis de regresión lineal de la serie contemporánea dió para la pendiente un valor de $-0,028 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1} \text{ año}^{-1}$ con un coeficiente de determinación de 0,02.

La regresión de los valores medios anuales de la heliofanía relativa diaria correspondientes a los años 1961 a 1982 arrojó un coeficiente positivo de $0,41 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y uno de determinación de 0,27. La nubosidad (medida en octavos de cielo cubierto) prácticamente no muestra variación en el período aludido ($B=0,002$ octavos por año $r^2=0,0025$, con una media del 3,7 octavos).

El emplazamiento de esta estación en una zona de intenso tránsito y rodeada por una gran arboleda hacen desaconsejable una comparación con los resultados hallados para la estación San Miguel.

CONCLUSIONES

Puede esperarse que la distribución estadística de las diferencias entre los promedios anuales siga una función gaussiana, con una dispersión estándar $[(\sigma_i^2 + \sigma_j^2)/365]^{1/2}$, en donde σ_i es considerado como la incerteza en la medición del valor diario de la radiación en cada estación. Aceptando que dichas incertezas son del mismo orden en todas las estaciones, los promedios anuales considerados se distribuirán alrededor del valor medio de la población con una dispersión estándar de $(2/365)^{1/2} \sigma$ (suponiendo que no hubiera variación secular). Como en el caso de las estaciones fotovoltaicas se determinó oportunamente que dicha incerteza en la medición de los valores diarios era del 6% (5), resultaría que el valor relativo de dispersión estándar de los promedios sería del 0,44 %.

Pero el corrimiento del $\pm 3\%$ aceptado en la estabilidad de los sensores termoelectricos de segunda clase (por ejemplo, Eppley "Black and White", instalado en la estación Cerrillos) obliga a una incerteza mayor; y si se tiene además en cuenta la introducida en la calibración de laboratorio o de campo (estimada del orden del $\pm 1,5\%$) se llega a que la incerteza instrumental asociada a la comparación de los promedios anuales medidos con piranómetros de segunda clase no puede ser menor al 4,9%. Los piranómetros fotovoltaicos son considerados de tercera clase, y si bien no está suficientemente estudiada su estabilidad (que puede ser considerada mayor que la de los termoelectricos), la incerteza adoptada en este trabajo será no inferior al 5% para los promedios anuales.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la variación relativa anual de la radiación global no supera la incerteza introducida por la instrumentación, pero a lo largo de los años de registro (a excepción de Cerrillos) la variación es del orden o supera apenas la incerteza instrumental, si bien no existe una tendencia definida de aumento o disminución de los

valores de radiación. En el caso de Rafaela y de Paraná este modelo de regresión explica respectivamente el 38% y el 31% de la variación, mientras que en el caso de San Miguel este valor es del 9% y en el de Cerrillos, del 0,7%.

Como la incerteza en la determinación de la heliofanía relativa es mayor y difícil de determinar, el análisis de las series de este parámetro no ayuda a definir la cuestión.

Como conclusión preliminar es posible afirmar que tampoco en estas estaciones del Hemisferio Sur parecen registrarse cambios significativos en los valores de radiación global; de todas maneras sería necesario analizar el nivel de significación estadística de los resultados, como así también estudiar series más extensas de heliofanía y nubosidad, tratando de detectar además efectos estacionales.

AGRADECIMIENTO

Los autores quieren destacar el aporte brindado por la Universidad del Salvador para el funcionamiento de este grupo de trabajo.

REFERENCIAS

1. CSAGI, Radiation Instruments and Measurements, *Annals of the International Geophysical Year*, Vol. V. IGY Intruccion Manual Part VI, pp. 367-466, Pergamon Press, London, U.K. (1957).
2. G. Stanhill, The distribution of global solar radiation over the land surfaces of the Earth. *Solar Energy*, Vol. 31, No. 1, pp. 95-104 (1983).
3. G. Stanhill and S. Moreshet, Global radiation climate changes: the World Network. *Climatic Change*, Vol. 21, pp. 57-75 (1992).
4. M.C. de Kurlat y R. Fernández, Radiación solar en la Argentina. *Acta Scientifica*, N° 19, OFCSM, Buenos Aires, Argentina, 55 p. (1970).
5. H. Grossi Gallegos, R. Lopardo and G. Atienza, Solar radiation network in Argentina. *Proc. ISES Congress*, Brighton, U.K., Vol. III, PP. 2456-2460 (1981).

INTRODUCCION

Se presentan resultados de las mediciones de radiación ultravioleta solar B centradas en 305 nm y 315 nm, con un ancho de banda de 8 nm, efectuadas en tres lugares geográficos del estado de Paraná (Uruguay): Curitiba, Maribow y Por do Iguazú. Estas localidades tienen la particularidad que se encuentran distribuidas en una estrecha franja alrededor del paralelo 27° 40' S, en un entorno de 20° desde la costa Atlántica pasando por el interior y llegando hasta la frontera Argentina.

Los datos se obtuvieron en días de cielo claro (nubosidad inferior o igual al 30%) en el mes de diciembre de 1994. El instrumento utilizado es un medidor por dos sensores ubicados dentro de un colimador de 10° de apertura angular total, que pueden captar la radiación solar directa y por consiguiente toda la difusa [1].

Los datos obtenidos se comparan con los resultados del modelo de Bird y Riordan [2], modificado en trabajos posteriores por Piazzenni y otros [3,4].