

ANÁLISIS DE LAS SERIES DE DATOS DE HELIOFANÍA EN ESTACIONES DE ARGENTINA UBICADAS AL NORTE DE LOS 38°S

H. Grossi Gallegos* y M. I. Spreafichi**
Red Solarimétrica, Servicio Meteorológico Nacional
Avda. Mitre 3100, (1663) San Miguel, Buenos Aires, ARGENTINA
Telefax: (54-11) 4455 6762 , E-mail: risol_sanm@yahoo.com.ar

RESUMEN: La insuficiencia generalizada de datos de irradiación solar con condiciones estadísticas de representatividad temporal y espacial es el motivo para usar la heliofanía (horas de brillo solar) para estimarlos. Pero las series de heliofanía medida a través de largos períodos permiten investigar también las probables consecuencias climáticas relacionadas con el Cambio Climático Global. En este trabajo se completan los resultados del análisis estadístico ya realizado en Argentina en la zona ubicada al sur del paralelo 38° con la aplicación del test de Mann-Kendall y se discuten los resultados obtenidos. Aparecen algunas estaciones en las que los promedios anuales de la heliofanía efectiva decrecen significativamente, $p=0.05$.

Palabras clave: heliofanía, series temporales, tendencias, Cambio Climático.

INTRODUCCIÓN

Como ya se dijera en anteriores oportunidades, la necesidad de contar con valores promedio de irradiación solar global no tiene respuesta en las bases de datos disponibles que resultan escasas, incompletas o de dudosa calidad, lo que obliga a hacer uso de estimaciones basadas en correlaciones establecidas con otras variables meteorológicas de más frecuente y extensa medición, como la heliofanía y la amplitud térmica (Righini *et al.*, 2004; Raichijk *et al.*, 2005).

En un trabajo anterior (Grossi Gallegos y Spreafichi, 2004) se comenzó a analizar la existencia de posibles tendencias en las series de valores heliofanía existentes en el Banco de Datos del Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) utilizando los métodos recomendados por el Grupo de Trabajo en Fluctuaciones Climáticas de la Organización Meteorológica Mundial (O.M.M.), en particular, el planteado originalmente por Mann en 1945 y que fuera reformulado por Kendall en 1948 (Kendall and Stuart, 1961).

Si bien el proyecto pretendía a cubrir todas las estaciones del país, se comenzó por la zona ubicada al sur del paralelo 38 motivados por la recepción de una comunicación personal en la que parecían detectarse tendencias significativa en los valores de la reflectividad de las nubes determinada a lo largo de 20 años (1980-2000) desde el satélite TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer)/NASA, que indicaban un aumento de los promedios anuales a medida que crecía la latitud hacia el Sur, hipótesis que fue descartada en base a los resultados obtenidos.

MATERIALES Y MÉTODO

Para este trabajo se consideraron las estaciones ubicadas al norte del paralelo 38°S; a partir de los valores promedios mensuales de heliofanía efectiva existentes en el S.M.N. correspondientes al período 1956/2003 se calcularon en primer lugar los promedios anuales para los años que tenían completos los registros mensuales, con lo cual la muestra se redujo, y se analizaron las series históricas restantes.

Procediendo como se hizo en el trabajo anterior ya citado, se eliminaron además todos aquellos promedios que se apartaban del promedio general en más de $\pm 1.96\sigma$, compatible con el nivel de significancia del test a emplear (límites que se flexibilizaron teniendo en cuenta el error de determinación de la heliofanía) quedándose finalmente con aquellas series de promedios anuales con una extensión no inferior a 20 valores, las que fueron analizadas con el test de Mann-Kendall (nivel de significancia del 5%).

Vale la pena tal vez insistir en la necesidad de evaluar la incerteza que se comete en la determinación de la heliofanía en las estaciones argentinas, tanto del S.M.N. cuanto del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (I.N.T.A.). Como ya se dijera el año pasado en un trabajo en el que se intentó cuantificar ese error, un alto valor de umbral en la energía necesaria para quemar las fajas subestima sistemáticamente la heliofanía, dando como resultado valores estimados de irradiación solar inferiores a los reales, cualquiera sea el método de correlación usado (Roldán *et al.*, 2005); en el mismo se mostró la dispersión de valores obtenidos con las fajas utilizadas pero no se pudo cuantificar su umbral. Por lo tanto, por el momento se continúa utilizando la incerteza estimada a partir del trabajo de Grossi Gallegos y Atienza (1992).

* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET

** Miembro de la Carrera del Personal de Apoyo del CONICET

Latitud S [°]	Longitud W [°]	Nombre	Período	N [años]	p-level	Valor medio [h]
22.10	65.60	La Quiaca Obs.	1956/1999	25	0.007	9.3
23.15	64.32	Orán Aero	1957/2000	24	0.804	4.7
24.38	65.08	Jujuy Aero	1967/2000	21	0.013	6.2
24.70	60.58	Las Lomitas	1956/2000	34	0.006	7.4
24.85	65.48	Salta Aero	1956/2000	30	0.010	5.3
26.85	65.10	Tucumán Aero	1956/2000	26	0.021	5.2
27.37	55.97	Posadas Aero	1956/2000	31	0.333	5.9
27.45	58.77	Corrientes Aero	1961/2000	29	0.177	7.4
27.45	59.05	Resistencia Aero	1965/2000	21	0.365	5.9
27.77	64.30	Santiago del Estero Aero	1956/2000	29	0.036	6.2
28.43	58.92	Bella Vista Aero	1966/1998	21	0.000	7.1
29.18	59.70	Reconquista Aero	1961/2000	29	0.000	7.3
29.38	66.82	La Rioja Aero	1956/2000	28	0.000	7.3
29.68	57.15	Paso de los Libres Aero	1956/2000	22	0.800	5.7
29.88	61.95	Ceres Aero	1956/2000	31	0.139	7.3
30.23	68.75	Jáchal	1956/2000	20	0.516	7.9
30.27	57.65	Monte Caseros Aero	1961/2000	34	0.034	7.2
31.32	64.22	Córdoba Aero	1956/2000	31	0.007	7.1
31.40	64.18	Córdoba Observatorio	1956/2000	31	0.405	7.1
31.57	68.42	San Juan Aero	1956/2000	34	0.000	8.7
31.67	63.88	Pilar Obs.	1956/2000	31	0.932	7.4
31.70	60.82	Sauce Viejo Aero	1958/2000	22	0.382	7.0
31.78	60.48	Paraná Aero	1956/2000	28	0.003	7.5
32.70	62.15	Marcos Juárez Aero	1956/2000	34	0.382	6.8
32.83	68.78	Mendoza Aero	1959/2000	31	0.598	7.9
32.88	68.85	Mendoza Obs	1956/2000	20	0.559	7.3
32.92	60.78	Rosario Aero	1956/2000	31	0.014	7.3
33.00	58.62	Guaeguaychú Aero	1956/2000	26	0.016	6.4
33.08	68.42	San Martín	1956/2000	30	0.129	8.6
33.27	66.35	San Luis Aero	1960/2000	30	0.193	8.4
33.68	59.68	San Pedro INTA	1966/1998	22	0.258	7.2
33.73	65.38	Villa Reynolds Aero	1956/2000	29	0.003	7.4
33.93	60.55	Pergamino INTA	1956/1998	25	0.427	7.3
34.13	63.37	Laboulaye Aero	1956/2000	36	0.210	7.3
34.55	60.92	Junín Aero	1958/2000	34	0.006	6.9
34.58	58.48	Buenos Aires	1956/2000	30	0.580	6.8
34.58	68.40	San Rafael Aero	1956/2000	32	0.023	7.3
34.60	58.60	El Palomar Aero	1957/2000	23	0.355	6.0
34.82	58.53	Ezeiza Aero	1956/2000	24	0.519	5.2
34.97	57.90	La Plata Aero	1956/2000	27	0.032	6.6
35.37	57.28	Punta Indio Aero	1956/2000	27	0.108	7.0
35.50	69.58	Malargüe Aero	1956/2000	23	0.146	7.8
35.70	63.75	General Pico Aero	1956/2000	26	0.008	5.5
35.87	61.90	Pehuajó Aero	1962/2000	26	0.128	7.0
36.35	57.73	Dolores Aero	1956/2000	31	0.002	6.1
36.57	64.27	Santa Rosa Aero	1956/2000	32	0.506	7.1
37.43	61.53	Coronel Suárez Aero	1956/2000	30	0.509	6.9
37.60	62.38	Pigüé Aero	1956/1995	25	0.022	7.1
38.33	60.25	Tres Arroyos	1964/2000	22	0.000	6.7

Tabla1. Estaciones consideradas, sus coordenadas, el período de datos existente, el número de años finalmente analizados y algunos de los resultados estadísticos obtenidos.

Los promedios mensuales de la heliofanía efectiva posteriores a octubre de 1967 ya habían sido consistidos por el Departamento de Climatología del S.M.N. por la condición de que no superaran el valor de la astronómica (esto es, que la heliofanía relativa no fuera superior a 1), además de verificar los valores dudosos de las planillas con las libretas de observación. Para la última década se detectaron valores irregulares en los años 1991 a 1993 debidos a la utilización de fajas erróneamente impresas, por lo que se decidió no tenerlos en cuenta en la preparación de las Estadísticas Climatológicas de la década, si bien los valores no fueron eliminados del Banco de Datos.

En la Tabla 1 se listan las 49 estaciones consideradas, sus coordenadas y el número de años finalmente analizados, presentándose algunos resultados estadísticos obtenidos (nivel de probabilidad y valor medio de los valores anuales). Puede allí verse que 26 estaciones muestran un comportamiento aleatorio (p-level superior a 0.05), mientras que las otras 23 presentarían tendencias definidas a un nivel de confianza del 5%; es decir, en estos casos el ensayo indicaría que la hipótesis de pendiente nula debería rechazarse.

A la base original se le agregaron las estaciones San Miguel, Rafaela INTA, Paraná INTA y Cerrillos INTA, que ya fueran analizadas en trabajos anteriores (Grossi Gallegos y Blázquez, 1996; Blázquez y Grossi Gallegos, 1997), a las que se sometió al mismo proceso. Los valores hallados aparecen en la Tabla 2.

Latitud S [°]	Longitud W [°]	Nombre	Período	N [años]	p-level	Valor medio [h]
24.90	65.48	Cerrillos INTA	1971/2000	19	0.016	6.2
31.28	61.55	Rafaela INTA	1961/2005	32	0.001	7.3
31.83	60.52	Paraná INTA	1964/2005	31	0.000	7.2
34.55	58.73	San Miguel	1957/2005	33	0.353	7.2

Tabla 2. Estaciones agregadas, sus coordenadas, el período de datos existente, el número de años finalmente analizados y algunos de los resultados estadísticos obtenidos.

Se analizó cada uno de los gráficos que representan las series temporales registradas en cada estación y en aquellas en las que era dable observar extensas faltantes producidas o por falta de información o como consecuencia del filtrado aplicado, se las dejó de lado. En la figura 1 se muestran algunos de los gráficos correspondientes a las estaciones retenidas para el estudio.

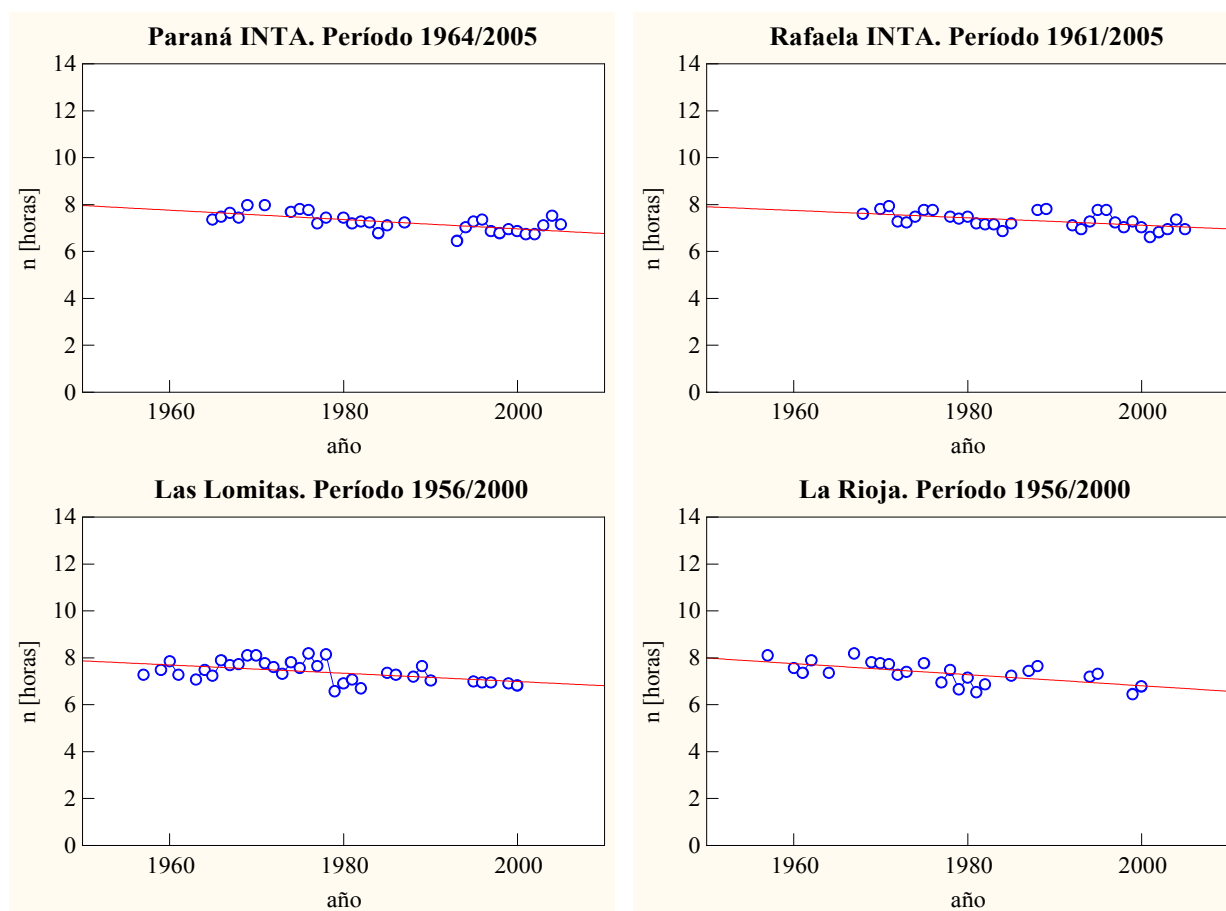


Figura 1. Series temporales de heliofanía efectiva.

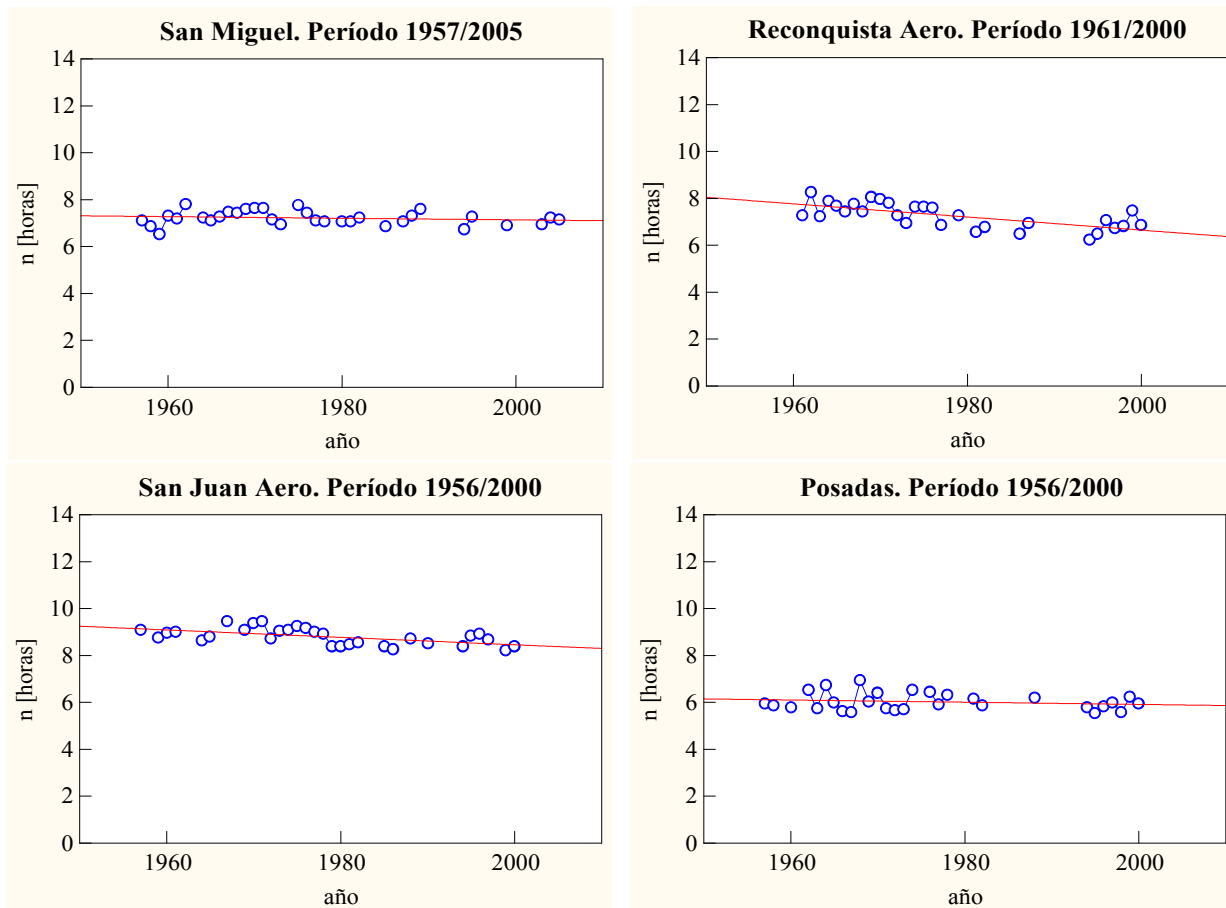


Figura 1 (cont.). Series temporales de heliofanía efectiva.

RESULTADOS

Finalmente, la base de datos analizada fue de 32 estaciones, reemplazándose Paraná Aero por Paraná INTA. De ellas, sólo 2 presentan pendiente positiva de valor muy bajo, que no resulta significativa (Marcos Juárez y Mendoza Aero); del resto, 13 muestran una tendencia decreciente significativa al 5%. Cabe destacar que 6 de ellas (Monte Caseros, Rafaela, Paraná, Rosario, Gualguaychú y Junín) se ubican en la zona noreste de la Pampa Húmeda y sur de la Mesopotamia, mientras que las 7 restantes no se presentan agrupadas; en general, no se observa ninguna correlación con la latitud. Por otra parte, los promedios anuales de heliofanía efectiva presentan un comportamiento aleatorio en 19 estaciones.

El comportamiento observado anteriormente muestra en general una tendencia a la disminución de los promedios anuales de heliofanía en un 41% de los casos y aleatorio en un 59% (dentro de éstos, sólo 2 estaciones presentaron pendiente positiva), a un nivel de significancia del 5%. En la tabla 3 se presentan los valores hallados para la pendiente y la ordenada al origen de las rectas de tendencia calculadas por cuadrados mínimos con sus incertezas, incluyendo el coeficiente de variabilidad, estos es, el desvío estándar dividido por el valor medio.

COMENTARIOS

La tendencia hallada en las estaciones de Cerrillos, Rafaela, Paraná y San Miguel coincide en signo con las determinadas en los trabajos anteriores ya citados, viendo acentuados sus valores con la inclusión de los últimos años. Si bien ahora las cuatro estaciones presentan valores decrecientes en el tiempo a un nivel de significancia del 5%, en el trabajo de Blázquez y Grossi Gallegos (1997) sólo resultó significativa la de Paraná ($p=0.019$) con datos de período 1968/1988 (cabe acotar que a ninguna de las series mencionadas se les aplicó el tratamiento de consistencia aquí descrito).

Los resultados hallados cuestionarían la validez de la utilización del valor medio como referencia para fijar el intervalo de aceptación de los valores ya que, al detectarse tendencias significativas, habría que hacerlo con respecto a la recta de tendencia. Por otra parte, al eliminar los valores ubicados fuera del intervalo adoptado ($\pm 1.96\sigma$) se corre el riesgo de perder evidencias de alguna perturbación importante a nivel local o regional que pudiera provocar efectos temporalmente.

A diferencia del trabajo de Grossi Gallegos y Spreafichi (2004) antes citado, cuyos resultados a un mismo nivel de significancia descartaban la presencia de tendencias en la región Sur de Argentina, aparece en esta oportunidad un conjunto

de localidades en el resto del país en las cuales se detecta una tendencia a la disminución de los valores medios anuales de heliofanía efectiva, algunas de las cuales podrían agruparse en la zona noreste de la Pampa Húmeda y sur de la Mesopotamia.

Nombre	Pendiente [horas/año]	Ordenada [horas]	n promedio [horas]	Cv
Las Lomitas	-0.018 ± 0.005	42.337 ± 10.728	7.4	0.05
Posadas	-0.005 ± 0.005	15.271 ± 9.916	6.0	0.07
Corrientes Aero	-0.002 ± 0.004	11.324 ± 8.303	7.4	0.04
Santiago del Estero	-0.015 ± 0.006	35.937 ± 12.760	6.2	0.08
Reconquista	-0.028 ± 0.006	62.626 ± 11.723	7.3	0.07
La Rioja Aero	-0.024 ± 0.006	54.100 ± 12.218	7.3	0.07
Paso de los Libres	0.002 ± 0.007	2.675 ± 14.402	5.7	0.08
Ceres	-0.007 ± 0.004	21.122 ± 8.313	7.3	0.04
Jáchal	-0.012 ± 0.008	30.993 ± 15.352	7.9	0.06
Monte Caseros	-0.004 ± 0.005	15.714 ± 9.463	7.3	0.04
Córdoba Observatorio	-0.002 ± 0.004	10.923 ± 7.889	7.1	0.04
San Juan	-0.016 ± 0.004	40.108 ± 8.700	8.8	0.04
Pilar	-0.003 ± 0.005	12.787 ± 9.196	7.4	0.05
Paraná INTA	-0.020 ± 0.004	46.847 ± 8.061	7.2	0.06
Marcos Juárez	0.004 ± 0.007	-0.630 ± 12.931	6.8	0.07
Mendoza Obs	-0.006 ± 0.012	19.750 ± 23.663	7.3	0.09
Rosario Aero	-0.011 ± 0.005	28.746 ± 9.574	7.3	0.05
Gualectuaychú	-0.022 ± 0.007	49.175 ± 14.341	6.4	0.08
San Martín	-0.005 ± 0.006	17.743 ± 11.035	8.6	0.05
San Luis	-0.001 ± 0.005	10.703 ± 10.091	8.4	0.04
San Pedro	-0.005 ± 0.006	17.685 ± 12.801	7.2	0.04
Laboulaye	-0.004 ± 0.005	15.127 ± 9.854	7.3	0.06
Junín	-0.017 ± 0.005	39.585 ± 10.213	7.0	0.06
Buenos Aires	-0.004 ± 0.008	13.866 ± 15.623	6.8	0.07
Ezeiza	-0.008 ± 0.007	20.094 ± 13.756	5.2	0.09
Malargüe	-0.010 ± 0.009	28.482 ± 17.412	7.8	0.08
Pehuajó	-0.012 ± 0.009	30.742 ± 16.932	7.0	0.07
Santa Rosa Aero	-0.006 ± 0.005	19.704 ± 10.751	7.1	0.06
Coronel Suárez Aero	-0.002 ± 0.005	11.295 ± 10.598	6.9	0.05
Pigüé	-0.022 ± 0.007	51.351 ± 14.712	7.1	0.06
Tres Arroyos	-0.037 ± 0.008	80.042 ± 15.341	6.7	0.08
San Miguel	-0.003 ± 0.004	14.006 ± 7.416	7.2	0.04
Cerrillos INTA	-0.020 ± 0.008	46.292 ± 16.254	6.2	0.06
Rafaela INTA	-0.016 ± 0.005	38.602 ± 9.265	7.3	0.04

Tabla 3. Estaciones finalmente consideradas y parámetros asociados.

Por lo tanto, se hace necesario analizar las series temporales de los promedios mensuales para analizar su posible correlación, por ejemplo, con los promedios correspondientes de irradiación solar (en caso de disponerse de ellos) o de nubosidad, o aún con la del Índice Multivariado ENSO (El Niño Southern Oscillation), conocido como MEI (Multivariate ENSO Index), ya que podría resultar alguna “teleconexión” con la ocurrencia de eventos “El Niño” que produjeran mayor cantidad de nubes en esta región.

REFERENCIAS

Blázquez M. L. y Grossi Gallegos H. (1997) Resultados del estudio del comportamiento estadístico de la radiación solar y otras variables meteorológicas asociadas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 1 (1), 185-188.

- Grossi Gallegos H. y Atienza G. (1992) Análisis del comportamiento espacial de los datos de radiación solar en la Pampa Húmeda argentina. En *Memoria del IV Congreso Interamericano y I Iberoamericano de Meteorología*, Tomo I, pp. 216-220, Cáceres y Salamanca, España.
- Grossi Gallegos H. y Blázquez M. L. (1996) Estudio de variables meteorológicas en la Estación San Miguel, provincia de Buenos Aires. Informe de avance. En *Actas de la XIX Reunión de Trabajo de la ASADES*, tomo I, pp. 04.1-04.4, Mar del Plata, Argentina.
- Grossi Gallegos H. y Spreafichi M. I. (2004) Análisis de los datos de heliofanía en el sur de Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **6** (2), 11.19-11.24 versión CD-ROM.
- Raichijk C., Grossi Gallegos H. y Righini R. (2005) Método alternativo para la estimación de valores medios mensuales de irradiación global en Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **9** (2), 11.05-11.08 versión CD-ROM.
- Righini R., Grossi Gallegos H. y Raichijk C. (2004) Trazado de nuevas cartas de irradiación solar global para Argentina a partir de horas de brillo solar (heliofanía). *Energías Renovables y Medio Ambiente* **14**, 23-31.
- Roldán A., Righini R. y Grossi Gallegos, H. (2005) Análisis preliminar de las fajas de heliógrafos utilizados en Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **9** (2), 11.09 -11.13 versión CD-ROM.

ABSTRACT: The insufficient solar irradiation data with statistical conditions for temporal and space representativeness is the motivation for using sunshine hours to estimate them. But sunshine hours data series measured over long periods also allow to investigate the likely climatic consequences of variations related to Climate Change. In this paper we are presenting the results of the statistical analysis of sunshine hours done in Argentina for the region extended from latitude 38° to the North through the application of Mann-Kendall rank test. It appears some stations where annual mean values of daily sunshine hours decrease significantly, $p=0.05$, with year of measurements.

Key words: sunshine hours, time series, trends, Climatic Change.