



ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PROMEDIOS MENSUALES DE IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL, HELIOFANÍA EFECTIVA, PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN LA ESTACIÓN PARANÁ-INTA Y SU POSIBLE TELECONEXIÓN CON EL EVENTO EL NIÑO

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: hgrossi@smn.gov.ar

RESUMEN: En el presente trabajo analizamos el comportamiento de los promedios mensuales de irradiación solar global, heliofanía efectiva, precipitación y temperatura en relación al del Índice Multivariado El Niño-Oscilación Austral (MEI) a lo largo de los años en que se dispone de datos diarios de irradiación solar global en la estación Paraná (1979-2008). Calculamos las anomalías estandarizadas (AE) y comparamos su evolución temporal con la del MEI. Evaluamos como apropiado el uso de las AE, observamos algunas correspondencias parciales en las series temporales pero descartamos una correlación sencilla con las precipitaciones a través de una teleconexión.

Palabras clave: anomalías estandarizadas, variables meteorológicas, Paraná, El Niño, La Niña.

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de alguna indicación de variabilidad secular en el clima solar nos llevó a analizar, como primera aproximación, las series temporales, previamente consistidas y depuradas, de los promedios anuales de heliofanía efectiva en 42 estaciones con más de 20 años de datos, resultando una tendencia a la disminución en un 36% de los casos y no significativa en un 57% (dentro de estos casos, 5 estaciones presentaron pendiente positiva) a un nivel de significancia del 5% (Grossi Gallegos y Spreafichi, 2009). Analizando el comportamiento mensual de los promedios en dos estaciones que arrojaron pendientes estadísticamente significativas de signo opuesto en las series anuales se encontró que, si bien el signo de las pendientes no cambió, se modificó el nivel de significancia de las mismas.

Otro resultado interesante fue detectar que 15 muestran una tendencia decreciente significativa al 5%. Cabe destacar que 6 de ellas (Monte Caseros, Rafaela, Paraná, Rosario, Gualaguaychú y Junín) se agrupan en la zona noreste de la Pampa Húmeda y sur de la Mesopotamia, mientras que las 9 restantes se presentan dispersas; en general, no se observa ninguna correlación con la latitud. Sin embargo, al analizar la influencia del error de medición estimado, su presencia enmascara las conclusiones en Monte Caseros, Rafaela, Paraná y Rosario.

Estudiamos entonces la búsqueda de tendencias en las series de promedios anuales de irradiación solar global y de las variables meteorológicas relacionadas en la estación Paraná-INTA, ya que dispone de registros relativamente extensos (Grossi Gallegos y Spreafichi, 2007). Descartada la misma en esa base temporal, se hizo evidente la necesidad de reducir el intervalo de integración, analizando las series temporales de valores diarios o de promedios mensuales o estacionales de estas variables para investigar su posible correlación, por ejemplo, con el 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 o precipitaciones en esta región.

Este índice se basa en las seis principales variables observadas en el Pacífico tropical: presión al nivel de la superficie del mar, componentes zonal y meridional del viento superficial, temperatura superficial del mar, temperatura superficial del aire y fracción de cobertura total del cielo. Vale la pena recordar que los valores positivos del MEI corresponden a la fase caliente del fenómeno, mientras que los negativos, correspondientes a la fase fría, constituyen lo que se denomina “La Niña”. Si bien ocurre en la zona del Pacífico tropical, tiene efectos que pueden registrarse en el sudeste de América del Sur, en donde las señales del evento se manifiestan como incrementos de las temperaturas invernales y el aumento de las precipitaciones entre noviembre y febrero. Por otra parte, efectos de La Niña están asociados con anomalías negativas de las temperaturas invernales y valores de precipitación inferiores a lo normal de junio a diciembre (Barros y Silvestre, 2002).

Analizamos entonces el comportamiento de los promedios mensuales de irradiación solar global, heliofanía efectiva y precipitación en relación al del MEI durante los meses de octubre a abril a lo largo de los años en que se dispone de datos en las estaciones Paraná y San Miguel ya que, en caso de existir, supusimos que la influencia del fenómeno El Niño no tendría un desfase mayor (Grossi Gallegos y Spreafichi, 2008). Los resultados del trabajo para las dos estaciones fueron dispares y nada concluyentes, razón por la cual decidimos analizar las series completas de los promedios mensuales de estas variables meteorológicas, agregando la temperatura media. No utilizamos la cobertura de nubes por revestir su determinación un carácter subjetivo (ya que se cuantifican los octavos de cielo cubierto, sin ponderar la ubicación y el tipo de nubes), si bien puede estar mucho más correlacionado con la heliofanía que la precipitación ya que podría aumentar la cantidad de días cubiertos sin registrarse un aumento en la precipitación.

* Personal del CONICET

MATERIALES Y MÉTODOS

Para analizar el comportamiento de los promedios utilizamos en el último trabajo citado las anomalías con respecto al valor medio de la variable en el período observado, la que definimos como:

$$AR\% = 100 (X_m - X_M)/X_M \quad (1)$$

en donde X_m es el promedio mensual de la variable considerada y X_M el valor medio de la misma en todo el período.

A fin de tener en cuenta la variabilidad intrínseca de cada magnitud y facilitar su comparación en términos estadísticos, utilizamos en este trabajo la anomalía estandarizada AE, para lo cual modificamos la definición anterior refiriendo las diferencias al valor del desvío estándar σ de los promedios registrados cada mes. Pero como las series temporales podían mostrar algún tipo de tendencia, calculamos las diferencias entre los valores medios mensuales X_m y los calculados para cada mes con la ecuación de la recta de tendencia X_{calc} :

$$AE = (X_m - X_{calc})/\sigma_m \quad (2)$$

Las anomalías quedarán expresadas de manera adimensional y cuantificadas en múltiplos del desvío estándar de los valores medios de cada mes de la serie completa. Estamos construyendo de esta manera un índice estandarizado para comparar su comportamiento con el del MEI.

Para todos los años en los cuales se cuenta con registros diarios de irradiación solar en Paraná (esto es, de 1979 a 2008 incluido) calculamos los promedios mensuales de cada una de las variables antes mencionadas y su desvío estándar. Vale la pena mencionar que los valores de irradiación solar diaria fueron consistidos en esta División (Roberti *et al.*, 2002) y los restantes, por el SMN y el INTA. En vista de los valores irregulares de heliofanía efectiva detectados en los años 1991 a 1993 en algunas estaciones debido a la utilización de fajas erróneamente impresas provistas a los observadores, el Departamento de Climatología del SMN decidió no tenerlos en cuenta para la preparación de las Estadísticas Climatológicas de la década (si bien los valores no fueron eliminados del Banco de Datos); en este trabajo no fueron, en consecuencia, utilizados.

Calculamos luego las rectas de tendencia y las anomalías estandarizadas de cada variable para así construir las series temporales; si bien analizamos sólo los tramos de serie coincidentes en el tiempo, utilizamos todos los valores disponibles para darle más peso a los valores promedio y a las rectas de tendencia. Así un valor de anomalía estandarizada de irradiación solar de 2,0 para el mes de abril de 1979 indica que el promedio de la irradiación supera en 2,0 desvíos estándares los promedios de abril de la serie completa (no de todos los meses del registro).

RESULTADOS

Los valores calculados de las anomalías estandarizadas AE de los promedios mensuales de la irradiación solar global en Paraná pueden verse en la figura 1. En este caso (como en el de los de la heliofanía efectiva) fueron afectados por un factor

Paraná INTA. Irradiación. Anomalía Estandarizada. Período 1979-2008

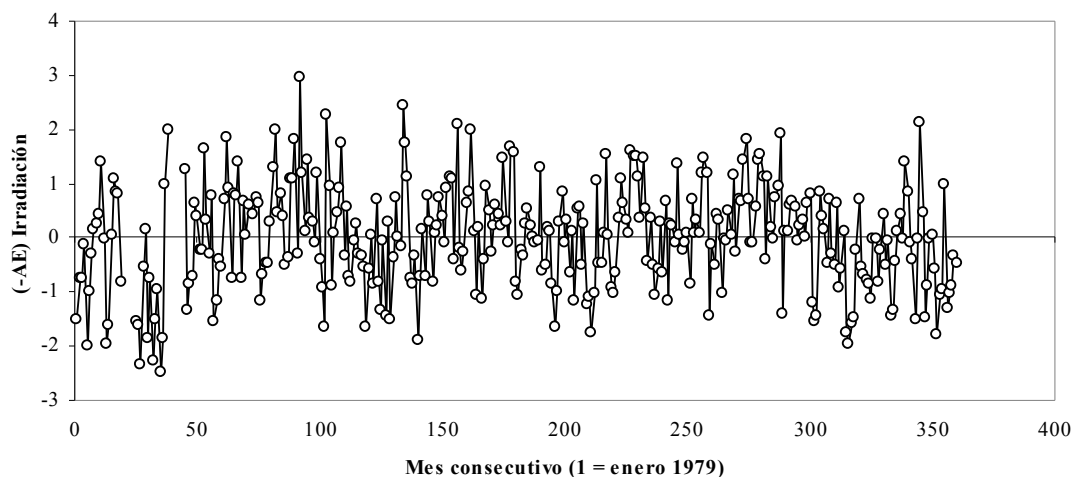


Figura 1. Comportamiento temporal de la serie de Anomalías Estandarizadas (afectadas por el factor -1) de los promedios mensuales de la irradiación solar global diaria en Paraná, provincia de Entre Ríos.

(-1) ya que su disminución está asociada a un aumento de nubosidad o de precipitación, que pueden ser los efectos asociados a un valor positivo del MEI. En el cálculo original varían los valores extremos, que resultaron ser -3 y +2,5 y que en la figura aparecen invertidos.

Los valores correspondientes a las anomalías estandarizadas de las otras variables consideradas están en general acotados entre distintos límites, prácticamente simétricos. Por ejemplo, la AE de heliofanía efectiva (multiplicada por -1) toma valores entre -2 y +2, excepto un valor +3 en agosto de 1990 (lo que justificaría una investigación particular), y la temperatura media entre -2 y +3; pero la precipitación está acotada de manera marcadamente asimétrica: llega a valores extremos positivos de +4,2 (octubre de 1993), +3,9 (marzo 2007) y dos de +3,6 (abril y mayo de 2000), los que ya fueran mencionados en un trabajo anterior (Grossi Gallegos y Spreafichi, 2007, con centros registrados en Paraná estaciones Aero e INTA y en Gualeguaychú), con 17 valores positivos que superan 2 desvíos estándares y ninguno negativo similar (las anomalías negativas máximas calculadas no van más allá de -1,6 en noviembre de 2007).

Teniendo en cuenta el comportamiento del Índice Multivariado ENSO (MEI) que puede verse en la figura 2, y dada la complejidad de estos registros, se obtuvieron los gráficos correspondientes a los calculados por promedios móviles cada 3, 6 y 12 meses a fin de posibilitar un primer análisis visual comparativo, reteniéndose los de 6 meses a fin de no perder demasiado detalle de los apartamientos.

Índice Multivariado ENSO. Período 1979-2008

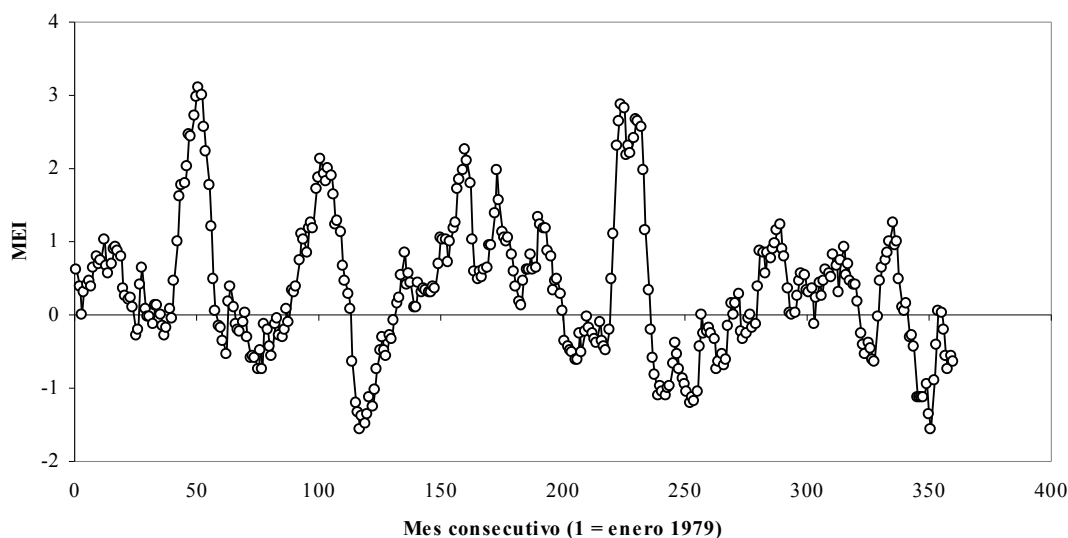


Figura 2. Comportamiento temporal de la serie del Índice Multivariado El Niño Southern Oscillation-MEI (según <http://www.cdc.noaa.gov/people/klaus.wolter/MEI/table.html>).

En las figuras 3 a 6 presentamos los gráficos correspondientes al comportamiento temporal de las anomalías estandarizadas de los promedios mensuales de la precipitación, la heliofanía efectiva, la irradiación global y la temperatura media diarias correspondientes a la estación Paraná-INTA tratadas como ya mencionamos.

Comparando la marcha de los registros de las anomalías de la precipitación (figura 3) con el MEI (figura 2) observamos que a partir de 1997 la evolución de ambos gráficos guarda en general una marcada correspondencia (no así sus valores numéricos), con un retardo de 2 a 3 meses de la anomalía de la precipitación con respecto al Índice Multivariado, acusando descensos en los valores asociados a los fenómenos fríos de febrero de 1999 y febrero de 2000. No observamos aumentos en las precipitaciones asociados a los Niños intensos de 1992-1995 y 1997-1998, pero pudimos observar un marcado ascenso en las precipitaciones en marzo y abril de 2000, a pesar de la correspondencia con una fase fría moderada del fenómeno. De 1979 a 1988 es difícil observar algún comportamiento similar en la evolución de ambas gráficas, comenzando a hacerse evidente recién a partir de La Niña de 1988.

Como era de esperar, la correspondencia entre las gráficas de irradiación y heliofanía efectiva con la de precipitación es muy buena, si bien es probable que resultara mejor si consideráramos la de nubosidad (ya que puede estar totalmente cubierto, registrarse heliofanía nula y no tener precipitaciones), pero la componente subjetiva en la determinación de la fracción de cielo cubierto le resta en general posibilidades a esta variable (nótese en el figura 4 el efecto de la graficación en la promediación móvil sobre el periodo de eliminación de datos de heliofanía efectiva 1991-1993)

Paraná INTA. Precipitación. Anomalía Estandarizada. Período 1979-2008

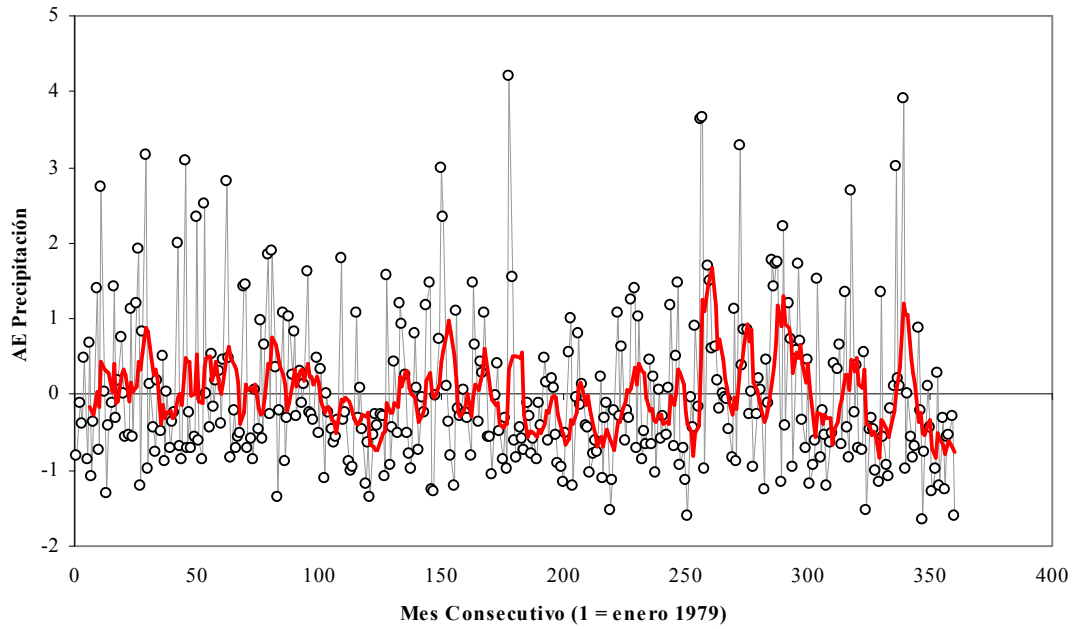


Figura 3. Comportamiento temporal de la serie de Anomalías Estandarizadas de los promedios mensuales de la precipitación diaria en Paraná, provincia de Entre Ríos.

Paraná INTA. Heliofanía. Anomalía Estandarizada. Período 1979-2008

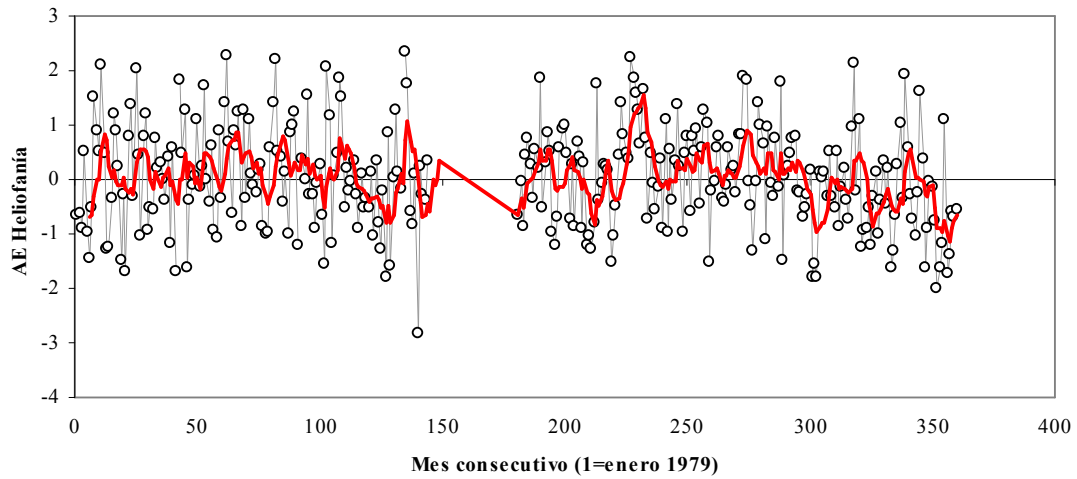


Figura 4. Comportamiento temporal de la serie de Anomalías Estandarizadas de los promedios mensuales de la heliofanía efectiva diaria en Paraná, provincia de Entre Ríos (nótese el efecto de la graficación continua en el tratamiento de promediación móvil sobre los meses eliminados del período 1991-1993).

**Paraná INTA. Irradiación global. Anomalía Estandarizada.
Período 1979-2008**

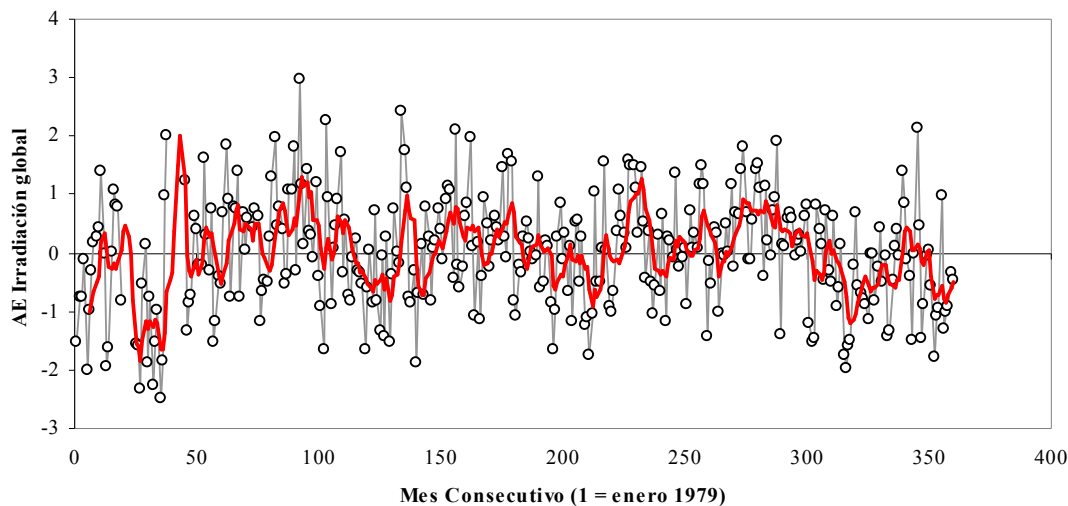


Figura 5. Comportamiento temporal de la serie de Anomalías Estandarizadas de los promedios mensuales de la irradiación solar global diaria en Paraná, provincia de Entre Ríos.

Paraná INTA. Temperatura Media. Anomalía Estandarizada. Período 1979-2008

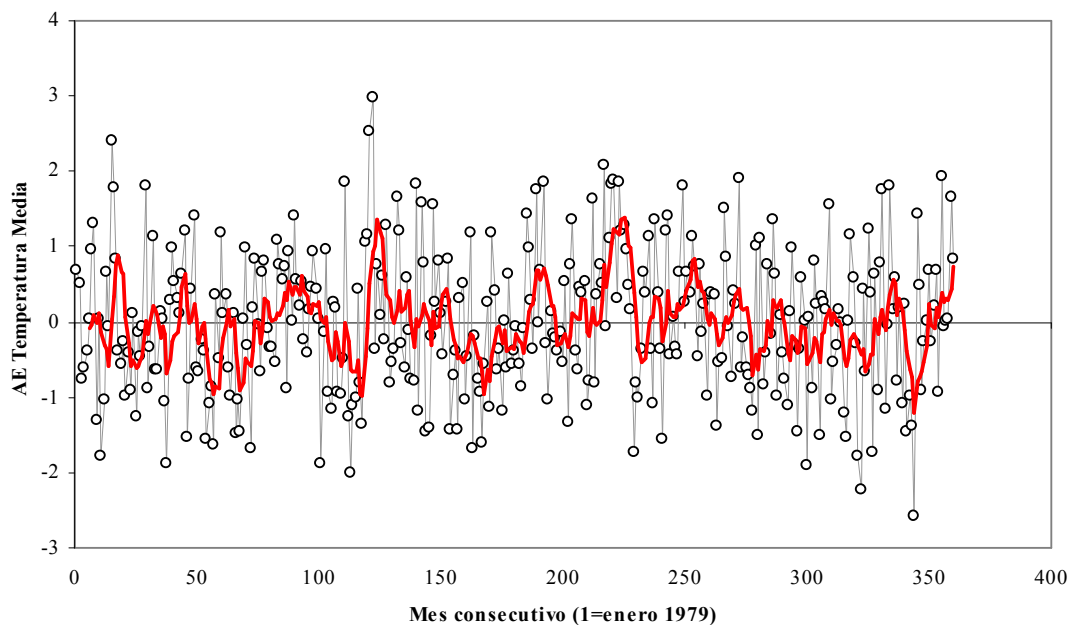


Figura 6. Comportamiento temporal de la serie de Anomalías Estandarizadas de los promedios mensuales de la temperatura media diaria en Paraná, provincia de Entre Ríos.

CONCLUSIONES

En general, se observa que la distribución de las anomalías estudiadas es relativamente simétrica con respecto al valor nulo, a excepción de la correspondiente a la precipitación. En este caso, si bien las anomalías así definidas no puede considerarse que sigan una distribución normal, los apartamientos extremos positivos registrados cumplen con la probabilidad de ocurrencia de los mismos (en distribuciones normales los valores que se apartan de la media en más $\pm 1,96\sigma$ tienen una probabilidad de

ocurrencia total menor al 5%, esto es, 17 casos en 348 valores), pero no se observa un comportamiento simétrico de valores negativos. De todas maneras, es mayor el número de anomalías negativas (60%); esto es, son más frecuentes las disminuciones del valor medio con respecto a las medias históricas de cada mes que no los aumentos, si bien éstos ocurren con mayor amplitud.

No resulta evidente que se registren precipitaciones por encima de lo normal evidente desde noviembre del año en que inicia el mismo hasta febrero del año siguiente, según afirmaron algunos investigadores, ni tampoco que en los procesos fríos llueva por debajo de lo normal desde julio a diciembre del año en el que el mismo se inicia, como puede verse en la figura 3. En general, podemos concluir que el régimen de lluvias durante la mayor parte del año no parece depender del ENSO.

Es nuestra opinión que la anomalía estandarizada que hemos utilizado puede ser una herramienta apropiada para evaluar este tipo de relaciones entre fenómenos que no están claramente relacionados y sobre los que se especula acerca de posibles teleconexiones. De todas maneras, en el caso del evento El Niño en cualquiera de sus fases, el posible efecto a detectar se manifestaría sobre el régimen de nubes y de lluvias y, sólo como consecuencia asociada, con la irradiación solar y la heliofanía.

REFERENCIAS

- Barros V. y Silvestre G. (2002) On the relation between sea surface temperature at the subtropical south-central Pacific and precipitation in southeastern South America. *J. Climate* **15**, 251-267.
- Grossi Gallegos H. y Spreafichi M. I. (2007) Análisis de las series de datos anuales en la estación Paraná-INTA. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **11**, 11.31-11.36 versión CD-ROM.
- Grossi Gallegos H. y Spreafichi M. I. (2008) Análisis de los promedios mensuales de irradiación solar global, heliofanía efectiva y precipitación en Paraná y San Miguel en relación a las fases del evento El Niño-Oscilación Austral. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **12**, 11.41 -11.48 versión CD-ROM.
- Grossi Gallegos H. y Spreafichi, M. I. (2009) Análisis de las series de los promedios anuales de heliofanía efectiva en Argentina. *Meteorológica*. En prensa.
- Roberti A., Renzini G., Sierra V. y Grossi Gallegos, H. (2002) Primeros resultados del análisis estadístico de los datos de heliofanía en la Argentina. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* **6**, 2, 11.31-11.35 versión CD-ROM.
- Ropelewski C. and Halpert M. (1987) Global and Regional Scale Precipitation Pattern Associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.* **115**, 1606-1626.
- Skansi M., Pérez S., Cáceres S., Hordij J. y Sierra E. (2000) Previsión de las precipitaciones del bimestre noviembre-diciembre en el norte de la provincia de Buenos Aires, Argentina, en función de las anomalías de temperatura en el Área Niño 3.4. En *Anales de la VIII Reunión Argentina de Agrometeorología*, Versión CD-ROM, Mendoza, Argentina.

ABSTRACT: In the present work we analyzed the behavior of the monthly averages of global solar irradiation, sunshine hours precipitation and mean temperature in relation to the Multivariate ENSO Index (MEI) over the years in which daily solar radiation data are available in the station of Parana (1979-2008). We calculated the standardized anomalies (SA) and compared its temporal evolution with that of the MEI. We evaluated as appropriate to use the AE, noted some partial correlations in the time series but discard a simple correlation with the rainfall through a teleconnection.

Key words: standardized anomalies, meteorological variables, Parana, El Niño, La Niña.