



## PRIMEROS RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS DE HELIOFANÍA EN LA ARGENTINA

A. Roberti<sup>1</sup>, G. Renzini<sup>2</sup>, V. Sierra<sup>2\*</sup>, H. Grossi Gallegos<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones San Miguel, Dirección de Sistemas FAA

<sup>2</sup> Red Solarimétrica, Servicio Meteorológico Nacional

Avda. Mitre 3100, (1663) San Miguel, Buenos Aires, ARGENTINA

Correo-e: [roberti@s6.coopenet.com.ar](mailto:roberti@s6.coopenet.com.ar) [postmast@grossi.cyt.edu.ar](mailto:postmast@grossi.cyt.edu.ar)

**RESUMEN:** El objetivo de este trabajo es determinar el grado de confianza de los datos disponibles de heliofanía efectiva medida en las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional en las últimos cuatro décadas. Para ello se seleccionaron aquellas estaciones con mayor cantidad de datos. En primer lugar se corroboró que las medias no presentan variaciones estadísticamente significativas en los períodos considerados. Se determinó –para un error dado– el número mínimo de mediciones necesarias y se comparó ese resultado con los parámetros de los datos disponibles. Se concluye que la confianza de medición está relacionada con el tamaño de la base y con la dispersión de las mediciones y que no existen tendencias significativas en los valores medios con tal de considerar un número suficiente de años.

**Palabras clave:** Heliofanía, medición, confiabilidad.

### INTRODUCCIÓN

Para poder establecer una herramienta útil en el diseño de sistemas de aprovechamiento de la energía solar, esto es, el Año Solar Típico (o, en algunos casos, el Año Meteorológico Típico), es fundamental disponer, por un lado, de una serie de datos confiables y lo suficientemente extensa como para poder ser considerada representativa del comportamiento del parámetro en el lugar (Grossi Gallegos, 1997); por otro lado, los promedios de los valores que la componen no tendrían que registrar una variación secular.

En un trabajo anterior (Grossi Gallegos y Atienza, 1995) se analizó el comportamiento de los promedios anuales de la radiación solar global en las estaciones de la Red Solarimétrica ubicadas en Cerrillos (Salta), Paraná (Entre Ríos), Rafaela (Santa Fe) y San Miguel (Buenos Aires), obteniéndose como resultado preliminar que en las mencionadas estaciones no parecían registrarse cambios significativos por encima de la incerteza instrumental.

Posteriormente (Grossi Gallegos y Blázquez, 1996) se estudió en la estación San Miguel el comportamiento estadístico de los promedios anuales de la radiación solar global, la heliofanía relativa, la nubosidad y la temperatura. Si bien las diferentes tendencias halladas fueron encontradas en algunos casos estadísticamente significativas al 5%, el análisis practicado no permitió llegar a resultados concluyentes acerca de una variación determinada de los mismos en el tiempo de duración de los registros. La pendiente negativa hallada para los promedios anuales de la irradiación global no fue estadísticamente significativa al nivel fijado, observándose en la heliofanía relativa un comportamiento dispar: en el conjunto de los 49 años considerados la pendiente fue levemente negativa, sin significado estadístico. Pero dividiendo en tres períodos de 16 años aproximadamente se alternaron fases negativas y positivas, sin significado estadístico en ninguno de los casos.

En el estudio de la nubosidad, utilizada como variable complementaria pero asociada a una mayor incerteza en la determinación, se encontró en una serie de 30 años un aumento del 2% que, si bien fue significativo, queda opacado por las fuentes de error. El comportamiento de la temperatura indicó un aumento significativo de 0,03°C/año, el cual podría dejar de serlo si se consideraran los efectos de la influencia urbana. En un nuevo trabajo se completó el estudio de las series anuales de los parámetros asociados en las estaciones de Cerrillos, Rafaela y Paraná (Blázquez y Grossi Gallegos, 1997), concluyéndose que no había indicaciones de la presencia de una variación secular definida, ni estadísticamente significativa, durante el período de existencia de la medición sistemática.

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

\*\* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET

Por otra parte, si bien para el estudio del comportamiento a largo plazo de sistemas solares, a menudo se requiere sólo del conocimiento de los valores medios mensuales de la radiación solar disponible, es necesario conocer cuán representativos del “valor verdadero” son dichos valores, los que fueron determinados a partir de muestras de distinta longitud y diversa variabilidad.

En un estudio realizado sobre la base de irradiación global de la Red Solarimétrica (Grossi Gallegos, 1998) se pudo ver que los menores plazos se dan en general para los meses de verano, lo que queda determinado por la variación relativa de los valores medios; esto es, si bien la dispersión estándar fue siempre del mismo orden (entre 1 y 2 MJ/m<sup>2</sup> día), a mayores promedios les corresponden menores tiempos para alcanzar la exigencia demandada. La variabilidad del recurso (esto es, la dispersión estándar normalizada por la media) era mayor en la zona de la Pampa Húmeda en invierno, probablemente debido a la alta ocurrencia de nubosidad asociada a lluvias en estos meses.

Como conclusión vale la pena resaltar que, a excepción de la estación San Miguel las restantes cumplían en ese momento con la condición de ofrecer con un nivel de confiabilidad del 90%, un valor promedio que difiere del verdadero en menos de un 6%.

Como los datos de irradiación global diaria disponibles en los países sudamericanos no ofrecen la suficiente precisión ni satisfacen las condiciones estadísticas como para ser considerados representativos en el tiempo y en el espacio, será necesario recurrir a estimaciones complementarias que permitan conocer su valor aproximado, siendo uno de los valores a utilizar para ello el promedio de las horas de insolación o heliofanía efectiva ( $\bar{n}$ ).

### TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Se dispone de una base de datos con mediciones de heliofanía efectiva realizadas por las estaciones del Servicio Meteorológico Nacional a partir de principios de la década de 1950 y hasta la actualidad.

Las mediciones originales se dispusieron en una única base de datos, sobre la cual se operó con un programa realizado en Visual Basic para Aplicaciones a fin de extraer de ella aquellos datos correspondientes a estaciones que tienen por lo menos cuarenta años de registro, generando para cada estación un archivo individual con formato unificado, donde se incluye una matriz cuyas filas son los años medidos y las columnas los doce meses del año, obteniéndose alrededor de 40 archivos.

Sobre cada uno de los archivos se realizó una “apertura”: se separó el vector de cada mes a fin de efectuar un análisis estadístico básico donde se obtuvo: el promedio, la desviación estándar, el ajuste por regresión a una recta, la ecuación de la recta obtenida y un análisis de regresión a fin de determinar el significado estadístico de la pendiente de esa recta. Así, cada estación procesada provee 12 análisis de sus datos.

En un primer paso, se trabajó solamente con la estación San Miguel (34°33’S, 58°44’W), que tiene 45 años de mediciones. En la tabla 1 se muestra un resumen de los datos obtenidos y se señala el valor mínimo y máximo de la pendiente de la recta de regresión de los datos mensuales, F es el valor del estadístico para una prueba de significación de la pendiente y VCF es el valor crítico de F en esa prueba.

| Mes        | Num. de datos | Pendiente | F      | VCF     | ( $\bar{n}$ ) | Desviac. estándar |
|------------|---------------|-----------|--------|---------|---------------|-------------------|
| Enero      | 44            | -0,02132  | 6,3927 | 0,01531 | 9,69          | 0,75              |
| Febrero    | 41            | 0,006064  | 0,5087 | 0,47993 | 8,96          | 0,68              |
| Marzo      | 44            | -0,01228  | 1,65   | 0,206   | 7,59          | 0,75              |
| Abril      | 45            | -0,02746  | 3,8854 | 0,05516 | 6,37          | 1,25              |
| Mayo       | 45            | -0,02252  | 4,4293 | 0,04121 | 5,69          | 0,66              |
| Junio      | 45            | 0,000487  | 0,0019 | 0,96548 | 4,45          | 0,87              |
| Julio      | 45            | 0,002688  | 0,0737 | 0,78732 | 4,81          | 0,54              |
| Agosto     | 45            | -0,00482  | 0,1813 | 0,67238 | 5,83          | 0,67              |
| Setiembre  | 45            | -0,0078   | 0,4787 | 0,49272 | 6,61          | 0,83              |
| Octubre    | 45            | -0,01195  | 0,8211 | 0,36992 | 7,32          | 0,86              |
| Noviembre  | 44            | -0,02146  | 3,0076 | 0,09021 | 8,90          | 0,94              |
| Diciembre  | 44            | -0,01316  | 1,7186 | 0,19699 | 9,31          | 0,88              |
| <b>Max</b> | 45            | 0,006064  |        |         | 9,6932        | 1,25              |
| <b>Min</b> | 41            | -0,02746  |        |         | 4,4533        | 0,537             |

Tabla 1. Resumen de datos de la base y proceso estadístico básico, para la estación San Miguel.

Puede verificarse que los datos son estables en el tiempo ya que las pendientes encontradas no son, en general, diferentes de cero con niveles de significación estadística al 5% que van de no significativo a poco significativo, corroborando lo señalado en la introducción respecto a trabajos anteriores. En la figura 1 se muestra la heliofanía efectiva de un mes en particular en función del año de medición mientras que la distribución de los promedios mensuales de todos los años de la base ( $\bar{n}$ ) se muestra en la figura 2.

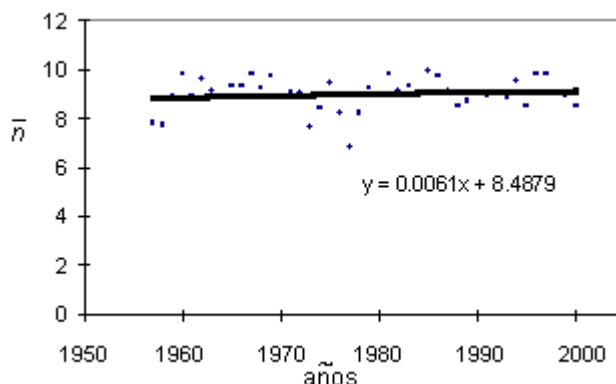


Figura 1. Distribución anual de los promedios mensuales de heliofanía efectiva (febrero) y su curva de regresión ajustada.

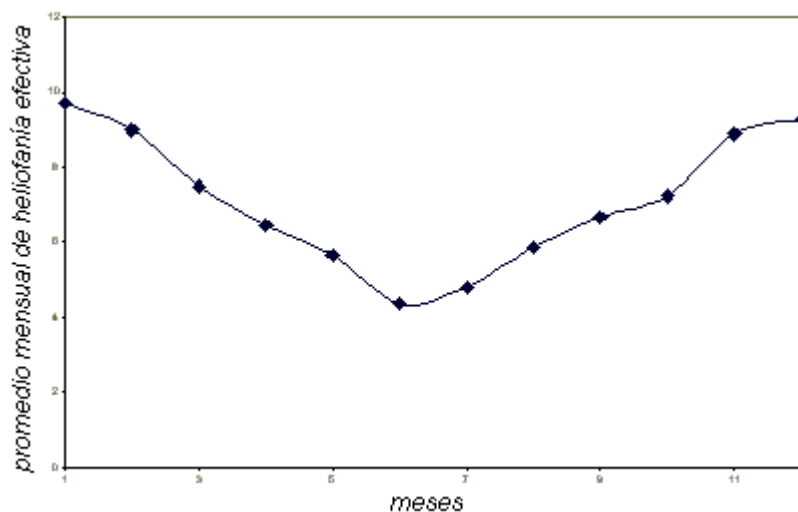


Figura 2. Distribución de los promedios mensuales de heliofanía efectiva en la estación San Miguel.

En un siguiente paso se calculó el número mínimo de años necesarios para obtener valores con el mismo error, el que fue prefijado en un 5% sobre la media, empleando la siguiente expresión:

$$\eta = \left( \frac{sZ}{e} \right)^2$$
, donde  $s$  es la desviación estándar,  $Z$  se iguala a 1,645,  $e$  es el error calculado con el 5% de la heliofanía efectiva media (ver tabla 2).

La figura 3 muestra la gráfica del número mínimo de años,  $\eta$ , versus la variabilidad del recurso (relación porcentual entre la desviación estándar y la media).

En esa figura se observa la dependencia lineal del número de años con la dispersión de los datos medidos. En el caso de la estación examinada, los valores de  $\eta$  hallados son razonablemente consistentes para índices de dispersión que llegan al 13%, e inconsistentes en los dos casos marcados con negrita en la tabla 2 cuyo índice es del orden del 20%.

Posteriormente se realizó un análisis de sensibilidad de los valores mensuales de  $\eta$ , observándose la variación de ese valor en función del número de años promediado para cada uno de los meses, excluidos los “anómalos” (abril y junio).

| Mes       | Nº de datos | $\bar{n}$ | s    | error | $\eta$       | 100 (s/ $\bar{n}$ ) |
|-----------|-------------|-----------|------|-------|--------------|---------------------|
| Enero     | 44          | 9,69      | 0,75 | 0,48  | 6,54         | 7,77257831          |
| Febrero   | 41          | 8,96      | 0,68 | 0,45  | <b>6,28</b>  | <b>7,61582721</b>   |
| Marzo     | 44          | 7,59      | 0,75 | 0,38  | 10,58        | 9,88644501          |
| Abril     | 45          | 6,37      | 1,25 | 0,32  | <b>41,82</b> | <b>19,6129707</b>   |
| Mayo      | 45          | 5,69      | 0,66 | 0,28  | 14,76        | 11,6786831          |
| Junio     | 45          | 4,45      | 0,87 | 0,22  | 41,37        | 19,5501187          |
| Julio     | 45          | 4,81      | 0,54 | 0,24  | 13,49        | 11,1656892          |
| Agosto    | 45          | 5,83      | 0,67 | 0,29  | 14,36        | 11,5176591          |
| Setiembre | 45          | 6,61      | 0,83 | 0,33  | 17,23        | 12,6163355          |
| Octubre   | 45          | 7,32      | 0,86 | 0,37  | 14,91        | 11,7385476          |
| Noviembre | 44          | 8,90      | 0,94 | 0,44  | 12,09        | 10,5688495          |
| Diciembre | 44          | 9,31      | 0,88 | 0,47  | 9,72         | 9,47652963          |

Tabla 2. Cálculo del número de años mínimo necesario para obtener el mismo error absoluto, los datos en negrita indican valores extremos.

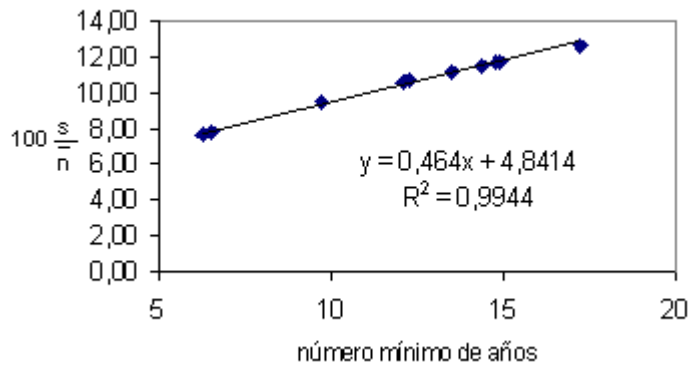
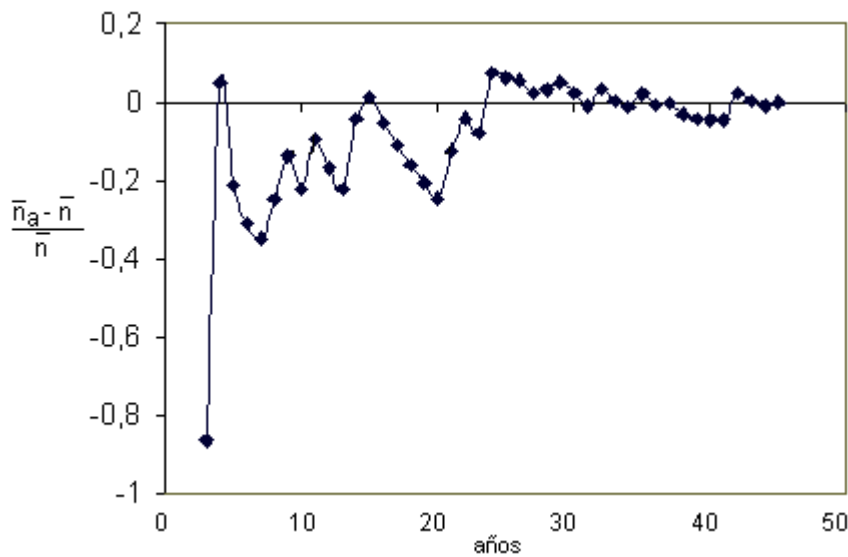


Figura 3: Correlación entre la variabilidad porcentual y el número de años sobre los que se calcula el promedio para la estación San Miguel.



*Figura 4. Variación relativa de la diferencia entre la heliofanía efectiva media mensual con tamaños de base creciente respecto a la heliofanía efectiva media de la base completa (años son los años que componen la base), para agosto en la estación San Miguel.*

Con este análisis se observó que en general no existen variaciones significativas del valor de  $\eta$  cuando se consideran los últimos diez años de la base de datos, sobre 44/45 en el caso de San Miguel, lo cual muestra que la prueba es robusta.

Este mismo análisis fue repetido en otras estaciones a fin de verificar coincidencias de resultados generales.

## CONCLUSIONES

La confiabilidad de los datos con mediciones de heliofanía efectiva depende no solo del tamaño de la base de datos disponible, sino también de la dispersión de esos datos. Si el valor de  $\eta$  es del 20 a 25% menor que el tamaño de la base puede inferirse que los datos son consistentes. Estas diferencias se mantienen en las estaciones examinadas en forma correspondiente con la relación porcentual entre la desviación estándar y la heliofanía efectiva media. Este análisis preliminar permite mostrar que los conjuntos de datos de más de 10 años son suficientemente confiables dentro de los límites del error de medición, siempre que la relación entre la desviación estándar y la media no supere el 15%.

Es evidente, en ese mismo sentido, que los meses invernales conllevan una mayor dispersión en las mediciones, lo que hace que en ellos el número de datos requeridos deba ser mayor para asegurar un cierto nivel de confianza. En las estaciones examinadas esta diferencia puede tabularse, preliminarmente, entre poco menos de 10 años para verano a alrededor de 16 años para invierno.

Las causas de variabilidad mensual, y aún anual, son difíciles de establecer. Por otra parte, el papel utilizado en la fabricación de las bandas de registro, el método de lectura y la influencia del clima sobre ellas no han sido evaluados en nuestro país (ni podrán serlo, ya que no se dispone de los registros originales).

En un trabajo futuro se deberá analizar la confiabilidad de las bases existentes en períodos de diez años independientemente del conjunto de datos, lo que permitirá extraer conclusiones más acotadas.

## REFERENCIAS

- Grossi Gallegos, H. y Atienza, G. (1995) Variación secular de la radiación solar global en la Argentina: primeros resultados. En *Actas de la 18va. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Tomo I, pp. 4.15-4.21, San Luis, Argentina.
- 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 19na. Reunión de Trabajo de la ASADES*, Tomo I, pp. 4.1-4.4, Mar del Plata, Argentina.
- 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* vol. 1 N° 1, pp. 185-188.
- Grossi Gallegos, H. (1997) Aproximaciones al Año Solar Típico. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* vol. 1 N° 1, pp. 189-192.
- Grossi Gallegos, H. (1998) Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. I. Análisis de la información. *Energías Renovables y Medio Ambiente* vol. 4, pp.119-123.

## ABSTRACT

The objective of this work is to determine the reliability of available data of effective bright sunshine hours measured in the Argentine National Meteorological Service (Servicio Meteorológico Nacional) stations in the last four decades. In order to do this, those stations with the largest number of data were selected. Firstly, it was confirmed that there were not important statistical variations in the measurements during the periods taken. It was determined –for any given error – the minimal number of necessary measurements and the results was compared to the parameters of available data. The conclusion is that reliability of measurement is related to the size of the base stations as well as to the measurement dispersion and that there are no significant trends in the average value if a sufficient number of years are measured.

**Key words:** bright sunshine hours, measurement, confidence.