

# POSIBILIDADES DE ESTIMACION DE LA NO-ESTACIONARIEDAD ESPACIAL DE LA DESVIACION ESTANDAR DE LAS DIFERENCIAS DIARIAS DE LA RADIACION SOLAR GLOBAL

H. Grossi Gallegos \*\* y G. Atienza

Relevamiento Subregional del Recurso Solar

Proyecto Multinacional del Medio Ambiente y Recursos Naturales O.E.A.

O.N.F.C.S.M., Avda. Mitre 3100, (1663) San Miguel

Buenos Aires, ARGENTINA

## RESUMEN

Para poder determinar la mejor distribución de las estaciones de una red de medición, teniendo en cuenta tanto los costos de instalación y de mantenimiento de una alta densidad de equipos cuanto las pérdidas que produciría un conocimiento insuficiente del parámetro que se mide, debe estudiarse la variabilidad espacial de los datos obtenidos por la misma. Esta variabilidad ya fue estudiada para las estaciones de la Red Solarimétrica en la Pampa Húmeda, analizándose el comportamiento de la función estructura en una zona en la que se supuso que la radiación variaba de manera homogénea e isotrópica, lo cual permitió obtener su dependencia sólo en función de la distancia. En este trabajo se evaluó la posibilidad de estimar la no-estacionariedad espacial (anisotropía) de la función estructura, encontrándose evidencias de la misma que pueden explicar parte de los apartamientos encontrados y que obligan a un posterior análisis utilizando herramientas estadísticas más apropiadas tales como la estimación no-paramétrica de la mencionada función.

## INTRODUCCION

La metodología utilizada para la selección de la ubicación de las estaciones de la Red Solarimétrica se basó inicialmente en dos criterios fundamentales. Uno, la densidad demográfica de esos lugares, ya que se pensó que el uso masivo de equipos de aprovechamiento de la energía solar tendría mayores posibilidades en lugares densamente poblados; el otro, la homogeneidad climática y fitogeográfica de las regiones a fin de facilitar la extrapolación o interpolación de los datos obtenidos.

La aproximación ideal al diseño final de una red de medición tendría que basarse en consideraciones económicas ya que, si en una cierta región con una dada distribución de estaciones se conoce el error que se comete al extrapolar los datos obtenidos en las mismas, es posible entonces pensar en la ubicación y el número necesario para minimizar los costos. Cuanto más grande sea el error, mayores pueden ser las pérdidas que se produzcan en un inadecuado diseño de un sistema de aprovechamiento o en una deficiente estimación de una cosecha.

\* Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.

+ División Física, Dpto. de Ciencias Básicas, UNLu.

Por otra parte, una excesiva cobertura implica inversiones elevadas en instrumental que pueden impedir o dificultar su instalación o su posterior mantenimiento. El problema reside entonces en la determinación de la densidad óptima de estaciones de tal manera de minimizar los costos y las pérdidas.

En un trabajo anterior<sup>(1)</sup> se dio un primer paso en esta dirección al estudiar la relación error-distancia entre las estaciones de la Red Solarimétrica ubicadas en la Pampa Húmeda, una región en que se supuso que esta variación era independiente de la ubicación (condición de homogeneidad). Se supuso además la isotropía en el comportamiento del campo de radiación en la región, esto es, la estacionariedad espacial. Manteniendo el supuesto de homogeneidad, en este trabajo se evalúa la posibilidad de estimar la no-estacionariedad espacial de la función estructura.

## METODOLOGIA

Este estudio se basa en la evaluación de la desviación estándar de las diferencias de los valores diarios de la radiación solar global, promediados sobre un mes, entre pares de estaciones ubicadas a diferentes distancias entre sí. Si el promedio de la radiación se indica con una barra sobre el símbolo, la anomalía (diferencia entre el valor y la media) en un dado lugar  $(x,y)$  vendrá dada por:

$$H'(x,y) = H(x,y) - \overline{H(x,y)}$$

mientras que la desviación estándar de las anomalías en la región será:

$$b_H(x_1, y_1, x_2, y_2) = \overline{(H'(x_1, y_1) - H'(x_2, y_2))^2}$$

a la que también se conoce como función estructura, la que dependerá de la ubicación relativa de las estaciones. La raíz cuadrada de esta función es denominada desviación estándar de las diferencias.

Si se acepta al isotropía en ese comportamiento, es decir, que la función estructura sólo depende de la distancia entre las estaciones y no muestra dependencia angular, se pueden obtener curvas como las que se muestran en la Figura 1, en la que el nivel de confianza exigido fue del 67%. Puede observarse una apreciable dispersión alrededor de la curva que aproxima el comportamiento medio, mucho más marcada en el caso de los valores diarios. También puede verse que en este caso la variación de esta desviación con la distancia permite sólo la extrapolación de los valores mensuales sin superar el nivel de incerteza instrumental (considerado del 6%), condición que se extiende hasta los 150 km con un nivel de confianza del 90%, mientras que esta extrapolación puede llevarse hasta 225 km si el error aceptado fuera del 10% (Figura 2).

En la preparación de estos gráficos ya había sido descartada la estación de Paraná debido a que el apartamiento respecto al comportamiento medio era considerable, indicándose entonces que "la hipótesis de uniformidad del campo de radiación no era válida para cortas distancias en esa zona; sin embargo, esa condición era recuperada para distancias mayores de 600 km".

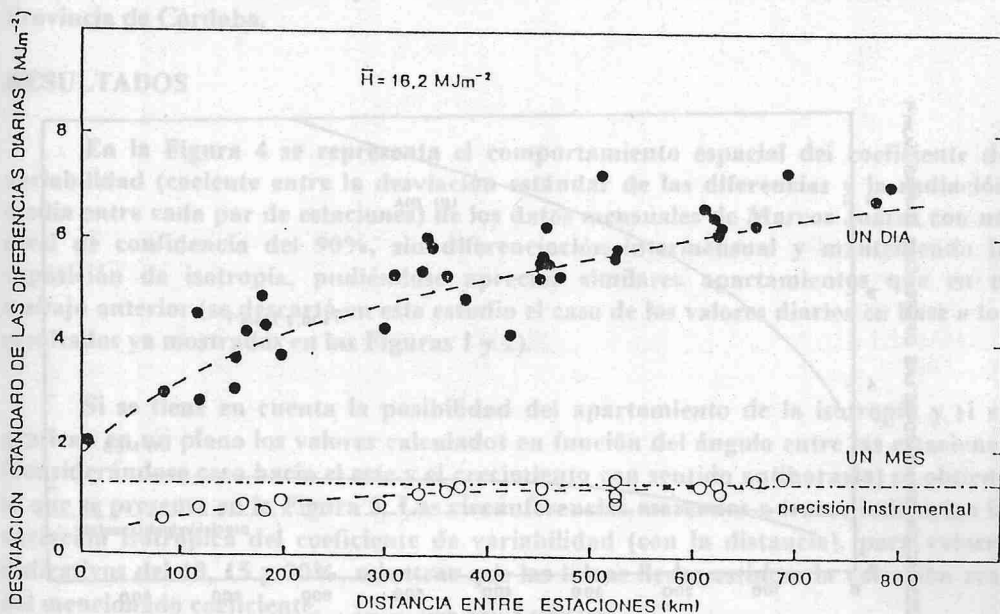


Figura 1. Variación de la desviación estándar de las diferencias diarias en la Pampa Húmeda como función de la distancia entre estaciones, para un nivel de confianza del 67%, con valores diarios y promediados sobre un mes, en base anual.

El paso siguiente a dar será la utilización de metodologías de cálculo apropiadas asociadas a programas de computación ya desarrollados para la estimación de los contornos constantes del coeficiente de variabilidad<sup>(2)</sup> para todas las estaciones de la Red Solarimétrica que lo permitan.

De todas maneras se considera que el objetivo planteado al encarar este estudio se ha alcanzado, evidenciando la posibilidad y necesidad de estudiar la no-estacionariedad espacial como herramientas para mejorar el conocimiento de la distribución de la energía solar en el país.

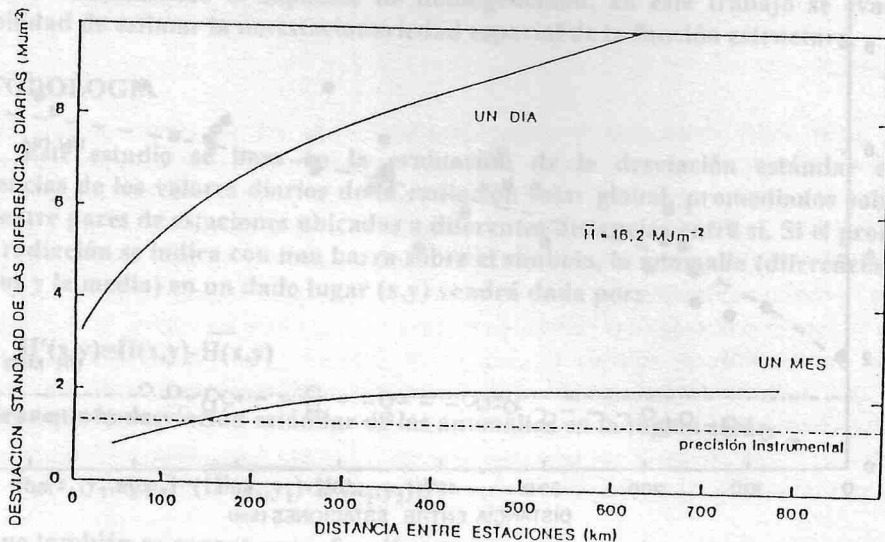


Figura 2. Variación de la desviación estándar de las diferencias diarias en la Pampa Húmeda como función de la distancia entre estaciones, para un nivel de confianza del 90%, con valores diarios y promediados sobre un mes, en base anual.

En la preparación de estos gráficos ya había sido descartada la estación de Paraná debido a que el comportamiento respecto al comportamiento medio era considerable, indicándose entonces que "la hipótesis de uniformidad del campo de radiación no era válida para cortas distancias en esa zona; sin embargo, esa condición era recuperada para distancias mayores de 100 km".

Esto permitió establecer, para niveles del 8.5% y del 10% de incerteza y un nivel de confianza del 90%, la cobertura que la Red Solarimétrica brindaba en la Pampa Húmeda (Figura 3).

En el presente trabajo, se compararon los valores mensuales de una serie de estaciones cuya ubicación relativa se indica en la Tabla 1 y se calculó la función estructura haciendo base en cada una de ellas. Se presenta a modo de ejemplo el comportamiento de la correspondiente a la estación Marcos Juárez, ubicada en la Provincia de Córdoba.

## RESULTADOS

En la Figura 4 se representa el comportamiento espacial del coeficiente de variabilidad (cociente entre la desviación estándar de las diferencias y la radiación media entre cada par de estaciones) de los datos mensuales de Marcos Juárez con un nivel de confianza del 90%, sin diferenciación intermensual y manteniendo la suposición de isotropía, pudiéndose apreciar similares apartamientos que en el trabajo anterior (se descartó en este estudio el caso de los valores diarios en base a los resultados ya mostrados en las Figuras 1 y 2).

Si se tiene en cuenta la posibilidad del apartamiento de la isotropía y si se grafican en un plano los valores calculados en función del ángulo entre las estaciones (considerándose cero hacia el este y el crecimiento con sentido antihorario) se obtiene lo que se presenta en la Figura 5. Las circunferencias marcadas a trazos indicarían la variación isotrópica del coeficiente de variabilidad (con la distancia), para valores indicativos del 10, 15 y 20%, mientras que las líneas llenas estiman la variación real del mencionado coeficiente.

## CONCLUSIONES

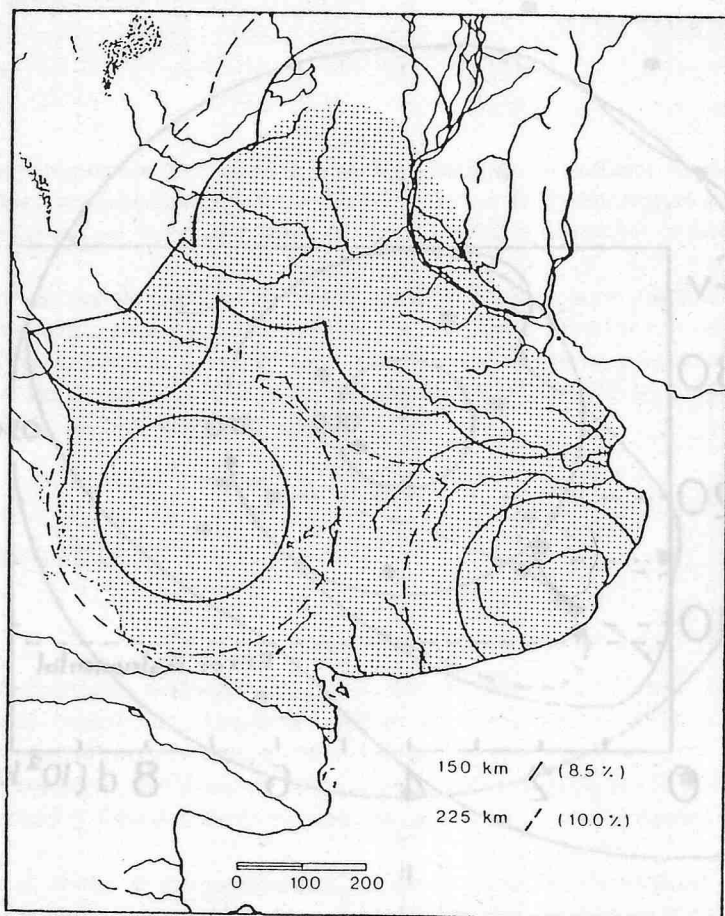
Si bien no fue considerada en este primer análisis la posibilidad de diferenciación intermensual o interestacional (lo cual podría explicar en alguna medida parte de la dispersión de los puntos observados en la Figura 4), parece evidente la existencia de una dependencia angular en los valores de la desviación estándar, la que se acentúa en las direcciones en las que aparecen variaciones geográficas, fitogeográficas o climáticas marcadas (además de la estación Paraná, las estaciones de Anguil, Balcarce y Pergamino presentan un apartamiento importante, pero la baja estadística de esta última ubicación parece ser la causa del mismo).

El paso siguiente a dar será la utilización de metodologías de cálculo apropiadas asociadas a programas de computación ya desarrollados para la estimación de los contornos constantes del coeficiente de variabilidad<sup>(2)</sup> para todas las estaciones de la Red Solarimétrica que lo permitan.

De todas maneras se considera que el objetivo planteado al encarar este estudio se ha alcanzado, evidenciando la posibilidad y necesidad de estudiar la no-estacionariedad espacial como herramienta para mejorar el conocimiento de la distribución de la energía solar en el país.

Estación	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pcia.R.S.Peña	1	-	206	372	507	553	635	674	788	878	1146	1241	657
El Sombrerito	2		-	188	509	505	593	673	728	769	1147	1130	735
Mercedes	3			-	458	407	491	601	601	605	1054	958	731
Rafaela	4				-	130	161	168	315	480	641	806	293
Paraná	5					-	88	201	234	361	647	704	410
Oliveros	6						-	142	157	324	561	645	391
M.Juárez	7							-	223	430	473	706	269
Pergamino	8								-	213	477	493	491
San Miguel	9									-	623	359	698
Anguil	10										-	647	565
Balcarce	11											-	562
Córdoba	12												-

Tabla 1. Estaciones usadas en este estudio, indicándose la distancia (km) entre ellas.



**Figura 3. Cobertura de la Red Solarimétrica en la Pampa Húmeda para promedios mensuales con un nivel de confianza del 90% suponiendo isotropía en el campo de la radiación.**

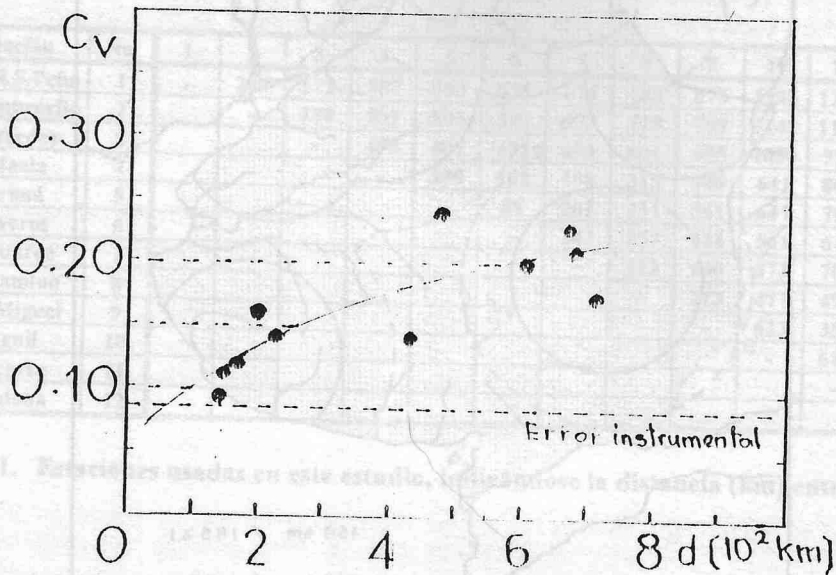


Figura 4. Variación del coeficiente de variabilidad de las diferencias mensuales de Marcos Juárez como función de la distancia a las otras estaciones consideradas.



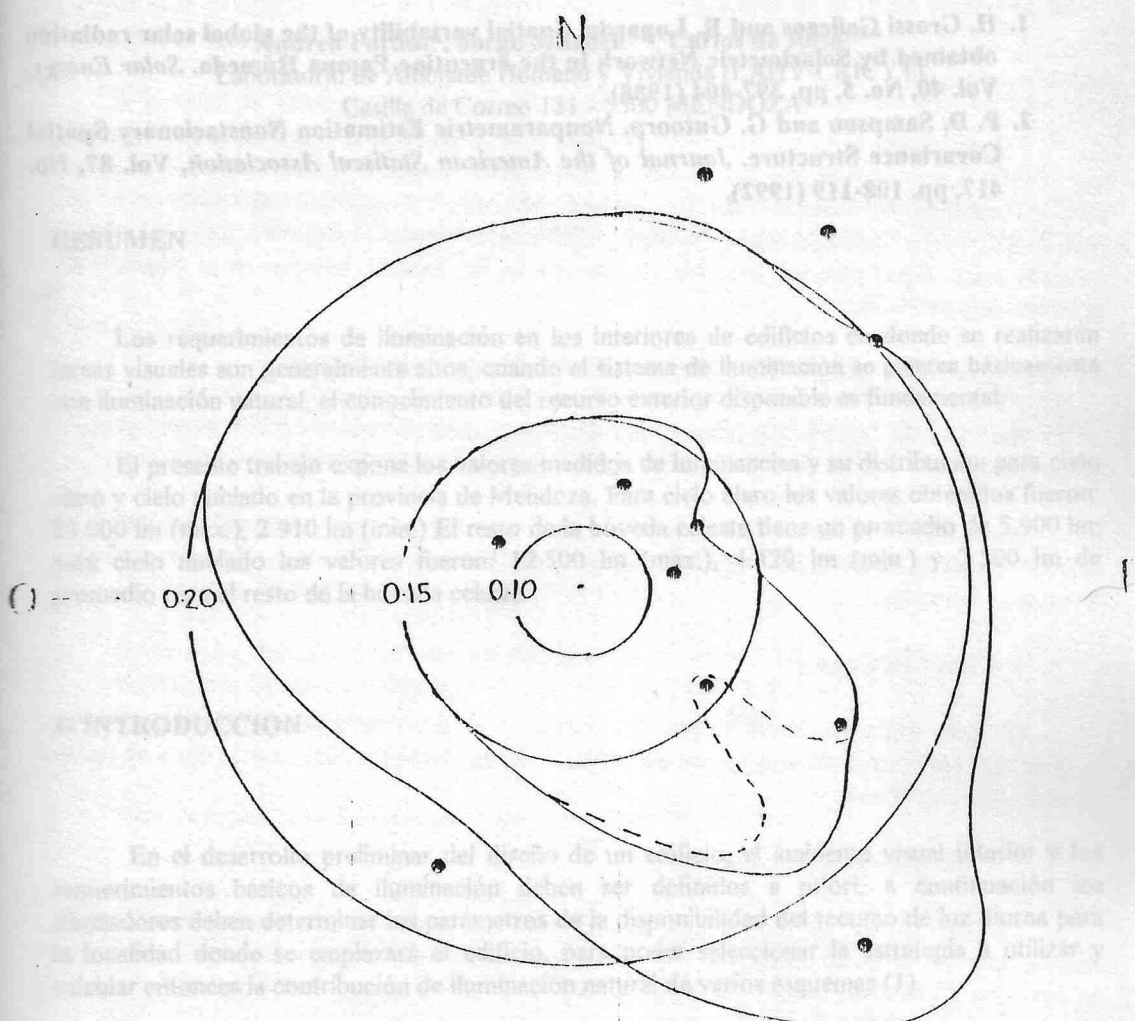


Figura 5. Variación espacial del coeficiente de variabilidad de los promedios mensuales centrada en la estación Marcos Juárez, incluyendo como referencia la ubicación de los niveles isotrópicos de 10, 15 y 20%.

\* Investigador Asociado CONICET  
 \*\* Técnico Principal CONICET  
 \*\*\* Investigador Independiente CONICET

## REFERENCIAS

1. H. Grossi Gallegos and R. Lopardo, Spatial variability of the global solar radiation obtained by Solarimetric Network in the Argentine Pampa Húmeda. *Solar Energy*, Vol. 40, No. 5, pp. 397-404 (1988).
2. P. D. Sampson and G. Gutoorp, Nonparametric Estimation Nonstationary Spatial Covariance Structure. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 87, No. 417, pp. 108-119 (1992).

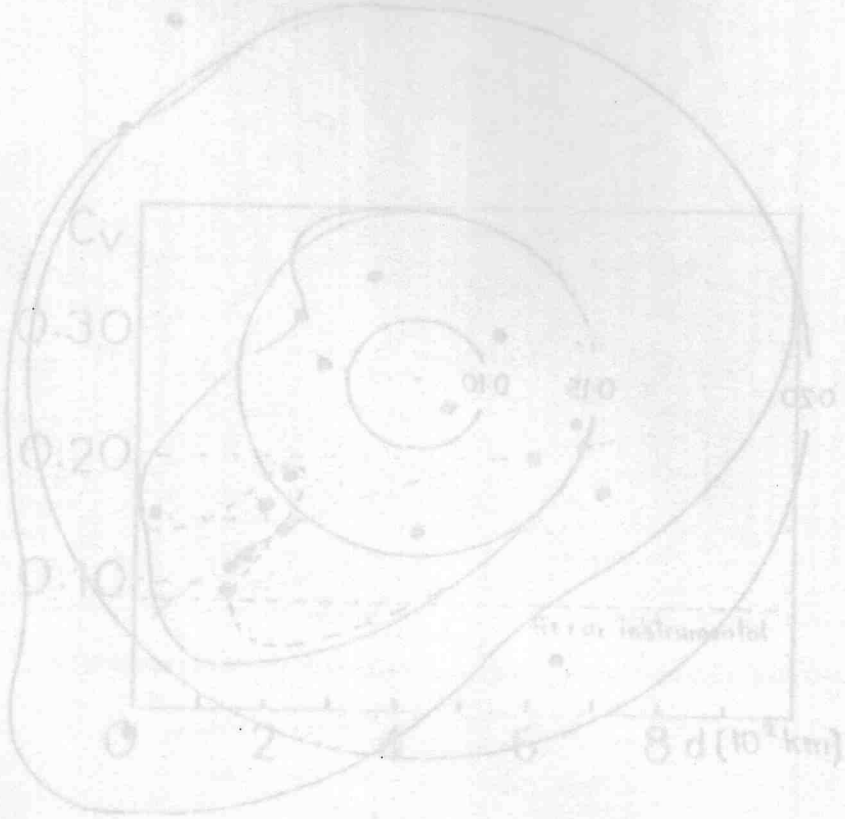


Figura 4. Variación del coeficiente de variabilidad de las diferencias sucesivas en un sistema estacionario en función de la distancia a las otras estaciones consideradas de Marcos Juárez como función de la distancia a las otras estaciones consideradas.

Figura 5. Variación espacial del coeficiente de variabilidad de las diferencias sucesivas en un sistema estacionario en función de la distancia a las otras estaciones consideradas de Marcos Juárez como función de la distancia a las otras estaciones consideradas.