

## **SOBRE LA COMPLETITUD DE LAS SERIES TEMPORALES DE DATOS DE IRRADIACIÓN SOLAR EN LUJÁN, PROVINCIA DE Bs. As.**

**Sergio Luza Regueiro, Raúl Righini, Sebastián Bazán, Adrián J. Roldán.**

GERSolar, INEDES-CONICET, Universidad Nacional de Luján, Av. Constitución y Ruta 5, (6700)  
Luján, Buenos Aires, Argentina – Tel. +54-2324-440241- gersolar@yahoo.com.ar

*Recibido 10/08/18, aceptado 21/09/18*

**RESUMEN** El interés creciente en el conocimiento de los niveles de radiación solar con vistas a su aplicación como fuente primaria de energía presenta el inconveniente, muchas veces, de la insuficiencia de datos medidos a nivel de superficie, muchas veces por incompletitud de las series. El presente artículo retoma ese tema, analizando exhaustivamente la consecuencia de la falta de datos diarios en los valores medios diarios mensuales en la estación de medición de la radiación solar que el GERSolar tiene en Luján, extrapolando las conclusiones extraídas a la red pampeana de medición.

**Palabras clave:** Radiación solar, completitud de series, promedios diarios mensuales

### **INTRODUCCIÓN**

Los datos sobre los niveles de radiación solar en la superficie terrestre, en plano horizontal, resultan, siempre, relevantes. No solo permiten evaluar la distribución espacio temporal del recurso solar, sino que constituyen la herramienta básica sobre la cual proyectar su uso eficiente como fuente energética. El diseño y dimensionamiento de las plantas de generación eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos o sistemas térmicos, el calentamiento de agua a través de colectores solares, entre otros usos energéticos, requiere conocer los niveles medios mensuales de irradiación solar. También resultan importantes porque son datos de interés climatológico y biológico, sumándose a ese hecho el uso que de ellos hace la agroindustria.

Pero, tal como se señalara en trabajos anteriores (Grossi Gallegos et al., 2016-2017, Grossi Gallegos 1998 a) y b), la radiación solar debe ser medida durante muchos años para que los valores diarios medios mensuales resulten estadísticamente representativos .

La cantidad de años necesarios para que esos valores medios representen la media dentro de un intervalo de confianza preestablecido con un error determinado, depende de la variabilidad temporal de los niveles de radiación solar, oscilando entre unos 5 años en los sitios de menor variabilidad a una cantidad superior a los 20 años, en ubicaciones donde el recurso es más variable.

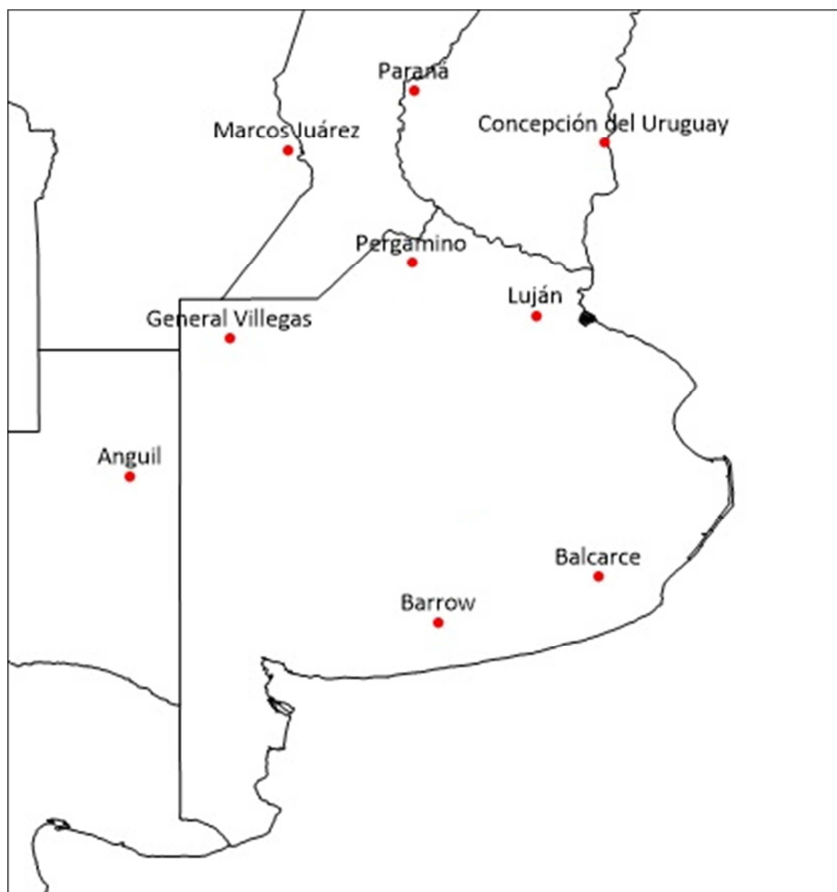
Existen en la actualidad muchas iniciativas destinadas a medir la radiación solar en plano horizontal a nivel de la superficie terrestre. Algunas de ellas tienen una extensa historia (como la del servicio meteorológico nacional) y pretenden cubrir extensas zonas del territorio argentino; otras son más recientes y su cobertura es claramente regional o local (tales como las asociadas a las instalaciones de plantas fotovoltaicas). Pero en todas ellas, inevitablemente, se registran pérdidas de datos. Esas pérdidas son inherentes a fallas en los adquirentes de datos, en la comunicación entre las estaciones de medición y los sistemas de procesamiento de la información, o en deficiencias de los propios sensores de medición de la radiación solar.

¿Cuántos datos pueden faltar sin afectar significativamente los valores medios? ¿Qué error supone calcular los promedios mensuales con datos faltantes?

Ése es el tipo de preguntas que se presentan a aquellos que trabajen con series de datos de radiación solar y acercar una posible respuesta es el objetivo del presente trabajo.

## MATERIALES Y MÉTODO

Se trabajó con datos de medición proveniente de una de las diez estaciones pertenecientes a la red pampeana que el GERSolar administra juntamente con INTA: la estación Luján. Luján, al igual que el resto de las estaciones registra datos minutales de energía solar incidente en plano horizontal desde hace más de siete años, con un piranómetro CMP11. En el resto de los sitios de medición el equipamiento usado son piranómetros Eppley CM180, y CM5 y CMP11, de la firma Kipp&Zonen, calibrados regularmente en el laboratorio de calibración del GERSolar. La red de estaciones se muestra en la figura 1.



*Figura 1: Red de estaciones del GERSolar-INTA*

Para evaluar la influencia de la pérdida de datos se realizó el siguiente procedimiento:

Se sacaron una serie de días (desde uno hasta siete) en cada uno de los meses de la serie completa de datos disponible de cada una de las estaciones. Esos días fueron extraídos cubriendo todas las combinaciones posibles de extracción de esa cantidad de días dentro de cada uno de los meses analizados. También se extrajeron datos al azar, entre 1 y 7 días, de las series de datos. Para cada una de las extracciones se calculó el promedio mensual con los días restantes y se comparó ese promedio con el promedio real (sin extracción alguna). Este procedimiento difiere del empleado por Grossi Gallegos (Grossi Gallegos et al, 2016-2017) en lo siguiente: el trabajo citado se basó en la extracción de días consecutivos de datos (entre dos y diez) y en la extracción al azar de la misma cantidad de días. El trabajo presente, además de las extracciones al azar, analiza **todas** las posibles combinaciones posibles entre uno y siete días, en los meses analizados.

El valor absoluto de la diferencia porcentual (relativa al promedio sin extracción) de los promedios sin extracción y los promedios con extracción se denominó desvío, y fue calculado para cada uno de las extracciones realizadas en cada uno de los meses de datos disponibles en la estación Luján. Se analizaron, siete años de datos.

Los desvíos, así obtenidos, permitieron evaluar exhaustivamente las consecuencias que la pérdida de datos de una serie trae aparejada en lo que hace al cálculo de los valores diarios medios mensuales.

Si bien no se analizaron aún los datos provenientes del resto de la red de medición pampeana, la homogeneidad del territorio en lo que hace a la distribución del recurso solar y la similar variabilidad de los niveles de irradiación solar diaria media mensual (definida como el cociente entre el desvío estándar y el valor medio) hace presuponer con buenos fundamentos, que los resultados serán extrapolables al resto de la red. No obstante, en el futuro inmediato este trabajo será repetido para la serie de datos disponibles en cada una de las estaciones de la red.

## RESULTADOS

A continuación, en las tablas siguientes, se muestran valores promedios de los desvíos, extrayendo sistemáticamente entre 1 y 7 días de cada mes. Además, se presentan los desvíos máximos alcanzados y la probabilidad máxima de que el desvío sea mayor a 5%, en función de los días extraídos. Se grafican los desvíos en función de la variabilidad media mensual.

Días extraídos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0,8	0,8	0,8	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4	1,3	1,1	0,9	0,7
2	1,2	1,2	1,2	1,5	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5	1,4	1,0
3	1,4	1,5	1,5	1,9	2,1	2,2	2,2	2,3	2,2	1,9	1,7	1,3
4	1,7	1,8	1,7	2,2	2,4	2,6	2,5	2,7	2,6	2,2	2,0	1,5
5	1,9	2,1	1,9	2,5	2,7	2,9	2,9	3,0	2,9	2,5	2,3	1,7
6	2,1	2,3	2,1	2,8	3,1	3,3	3,2	3,4	3,2	2,8	2,5	1,9
7	2,3	2,6	2,4	3,1	3,4	3,6	3,6	3,7	3,6	3,1	2,8	2,1

Tabla N°1. Desvíos medios porcentuales para cada uno de los meses del año, extrayendo todas las combinaciones posibles de 1 a 7 días en el mes para la estación Luján.

Días extraídos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	3,1	3,4	3,0	3,2	3,1	3,1	3,1	4,5	3,4	3,2	3,2	3,2
2	6,1	6,6	5,8	6,6	6,1	6,3	6,4	9,2	6,7	6,4	6,3	6,5
3	8,7	10,0	8,4	10,0	9,2	9,9	9,8	13,6	10,1	9,8	9,3	9,6
4	12,1	11,6	10,1	12,6	11,9	13,0	13,2	18,0	13,7	12,6	12,3	11,2
5	14,8	13,2	12,0	15,5	14,7	16,2	16,6	22,0	17,4	15,4	15,3	12,8
6	17,0	14,9	13,7	18,3	17,7	19,3	20,1	26,3	20,6	18,0	17,9	13,6
7	18,1	16,4	15,4	20,8	21,0	22,2	23,7	30,4	24,0	20,6	20,4	14,4

Tabla N°2. Desvíos máximos porcentuales para cada uno de los meses del año, extrayendo todas las combinaciones posibles de 1 a 7 días en el mes para la estación Luján.

Días extraídos	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1,4	0,9	0,5	2,5	2,1	3,0	14,7	14,7	4,3	2,3	2,2	0,7
3	2,9	2,9	1,4	10,5	8,8	14,5	20,3	20,3	11,9	10,4	3,5	2,1
4	3,9	6,2	3,1	16,7	18,6	19,8	28,7	28,7	19,6	17,0	6,1	3,7
5	6,7	10,6	6,5	22,8	22,5	26,6	34,5	34,5	25,5	22,9	16,1	5,2
6	13,4	15,2	10,1	28,2	28,2	31,8	39,6	39,6	30,9	28,2	20,7	7,7
7	19,7	20,4	14,0	32,9	33,0	36,6	44,2	44,2	35,7	32,9	23,6	11,3

Tabla N°3. Probabilidad máxima porcentual de que el desvío sea mayor a 5%, extrayendo todas las combinaciones posibles de 1 a 7 días en el mes para la estación Luján.

Tal como era de esperar, y como mostrara Hugo Grossi Gallegos en su artículo (Grossi Gallegos et al, 2017), el desvío depende, además del número de días extraídos, de la variabilidad media mensual. En aquellos sitios y durante los meses en los que la variabilidad del recurso solar sea baja, los valores medios calculados con un número de días menores a los del mes, no difieren mucho de los valores medios reales. Es la variabilidad del recurso la que determina cuántos días pueden perderse durante un mes sin que el cálculo de la media mensual se vea sensiblemente afectado.

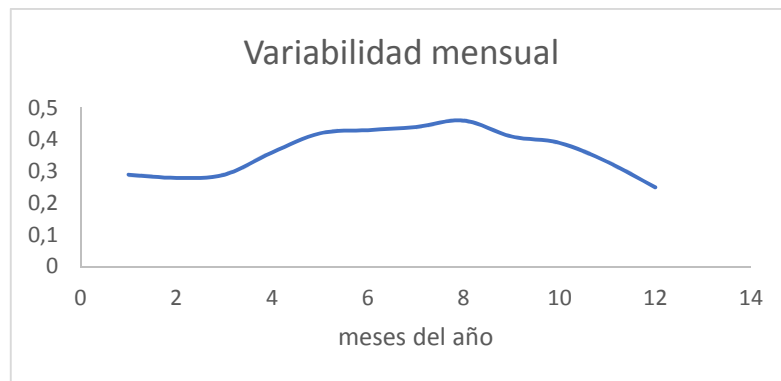


Figura 2: Variabilidad media mensual de la radiación solar para la Estación Luján.

A medida que el número de días faltantes aumenta, los desvíos aumentan. Es notable como, en promedio, esos desvíos nunca superan el 4% para días faltantes entre 1 y 7. Es decir que, en promedio, pueden faltar siete días de datos en un mes sin que el valor medio calculado difiera del real en más del 4%. Considerando que en muchos sitios de la red el instrumental usado presenta un error relativo que ronda ese valor, consideramos que ésta es un dato a tener en cuenta.

En la figura siguiente se muestran los desvíos medios, máximos y la probabilidad de desvíos mayor al 5% en función de los días extraídos del cálculo de los valores medios para dos casos extremos: enero y agosto.

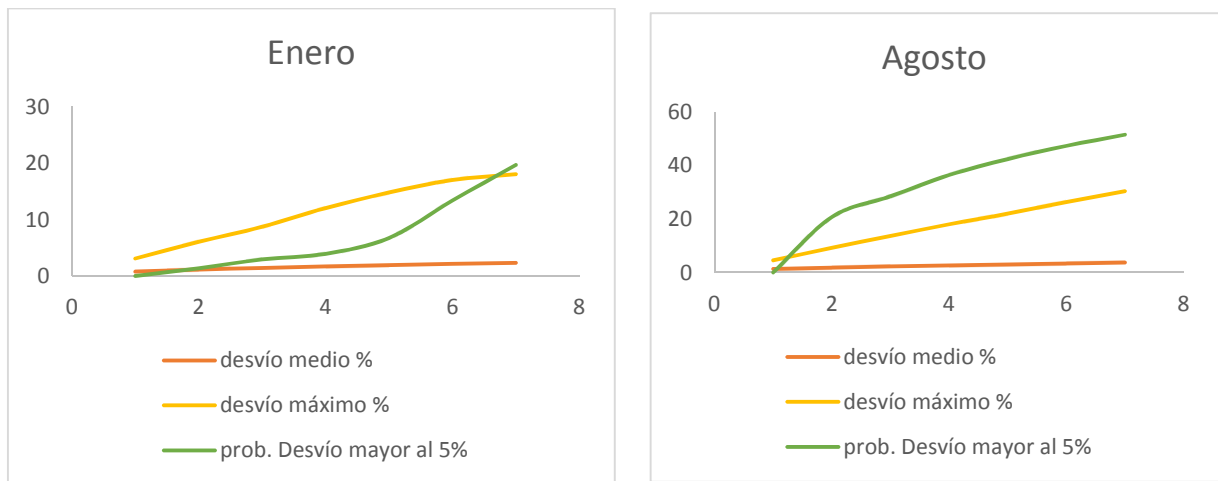


Figura 3: Desvíos porcentuales (medios mensuales y máximos) y probabilidad porcentual de desvío mayor al 5% en función de la cantidad de días extraídos para los meses de enero (izquierda) y (agosto) derecha.

Es verdad que los desvíos máximos pueden ser mucho más elevados que el 4%, a medida que el número de días faltantes aumenta (un máximo de 44% para 7 días faltantes en durante los meses de julio y agosto). En ese caso, el desvío es claramente inaceptable. Pero resulta notable ver cómo, durante los meses de mayor radiación en la zona, esos desvíos máximos son sensiblemente menores. Ése hecho debe formar parte de un análisis ponderado al momento de descartar información mensual ante el faltante de días, pudiendo establecerse una norma que considere la variabilidad media mensual como otro parámetro a considerar.

Por otra parte, el análisis probabilístico muestra que, en el peor de los casos, la probabilidad máxima de cometer un error superior al descartar 7 días de datos para el cálculo de los promedios mensuales es inferior al 30% y ello sólo ocurre para el mes de agosto. Para el resto de los meses, hacer el cálculo de los promedios mensuales sin contar con datos entre 1 y 7 días, supone en promedio errores aceptables, resultando la probabilidad de cometer errores que superen el 5% menor al 25% en prácticamente todos los meses.

## CONCLUSIONES

El análisis exhaustivo del cálculo de los valores diarios medios mensuales en la estación Luján, para meses que tengan faltantes entre 1 y 7 días de datos, revela que, en promedio, dichos valores medios diferirán de los reales en menos del 4%, lo cual resulta aceptable para una red de medición con equipos que presenten ese nivel de incerteza en los valores medidos de irradiación solar.

Los resultados muestran desvíos máximos que crecen con el número de días faltantes, y que pueden resultar inaceptables en muchos casos. En todos los casos, la variabilidad mensual de los niveles de irradiación solar es quien determina la sensibilidad de los desvíos ante el faltante de datos.

No obstante, es de señalar que la probabilidad de cometer errores mayores al 5% resulta, en general, menor al 25% en casi todos los casos, aun faltando 7 días de datos en el cálculo de los valores medios.

Éste hecho, según nuestra opinión, resulta significativo en la decisión de descartar información de meses enteros en las redes de medición por ausencia de datos diarios.

Si bien el análisis hecho en la estación Luján se ampliará al resto de las estaciones de la red pampeana, la similar variabilidad media mensual que el recurso solar presenta en la zona hace suponer que las conclusiones obtenidas aquí son extrapolables a la Pampa Húmeda Argentina.

**Agradecimientos:** Los autores expresan su agradecimiento al Sr. Andrés Domenech, por su asistencia técnica en el funcionamiento de la estación Luján y al personal del Inta que coordina y atiende juntamente con el GERSolar la red pampeana de medición.

**ABSTRACT** The increasing interest in the knowledge of the levels of solar radiation with a view to its application as a primary source of energy, presents the drawback, many times, of the insufficiency of data measured at the surface level, often due to incompleteness of the series. This article returns to this topic, exhaustively analyzing the consequence of the lack of daily data in the monthly average values in the solar radiation measurement station that the GERSolar has in Luján, extrapolating the extracted conclusions to the Pampa network of measurement.

**Keywords:** Solar radiation, Radiación solar, data completeness, monthly daily averages.

## **REFERENCIAS**

- Grossi Gallegos H, Coquet E. La pérdida de datos diarios de irradiación solar global y una evaluación sobre su influencia en los promedios mensuales. *Revista de Climatología*. Vol. 17, pp. 45-57 (2017)
- Grossi Gallegos H, Coquet E. Influencia de la pérdida de datos sobre los promedios de irradiación solar global. *Revista Averma*, Vol. 4, pp. 11.53-11.61 (2016)
- Grossi Gallegos, H. Distribución de la radiación solar global en la República Argentina II. Cartas de radiación. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5:33-42. (1998 a)
- Grossi Gallegos, H. Distribución de la radiación solar global en la República Argentina. I. Análisis de la información. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4:19-123. (1998 b)
- Organización Meteorológica Mundial. Cálculo de las normales estándar mensuales y anuales de 30 años: preparado por una reunión de expertos, Washington, D.C., EE.UU, marzo de 1989. WCDPNo. 10, OMM, Ginebra. (1989)
- Organización Meteorológica Mundial. Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. WCDMP-No. 61, OMM-TD No. 1377, OMM Ginebra, marzo de 2007