

## **APLICACIÓN DE PROTOCOLOS DE CONTROL DE CALIDAD DE DATOS DE RADIACIÓN SOLAR MEDIDOS EN SALTA (ARGENTINA).**

**M. Romano Armada\*, H. Suligoy\*\*, C. Fernández\* , G. Salazar\*\*\*\*<sup>1</sup>.**

\*Departamento de Física - Facultad de Ciencias Exactas-Universidad Nacional de Salta

\*\*Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Avda. Bolivia 5150 – CP A4408FVY – Salta  
e-mail: [martinromanoarmada@gmail.com](mailto:martinromanoarmada@gmail.com)

*Recibido 26/07/17, aceptado 28/09/17*

**RESUMEN:** En este trabajo se realiza el análisis de valores de radiación solar global medidos en la ciudad de Salta, durante el periodo 2013 a 2015. Se utiliza la metodología de control de calidad que utiliza la red BSRN. Se comparan los valores obtenidos contra valores de referencia medidos en la región de la ciudad de Salta durante las décadas de los 60s, 70s, 80s, 90s y 00s (no consecutivos). Se obtienen resultados que indican la importancia de contar con datos medidos que han sido filtrados usando criterios de Control de Calidad.

**Palabras clave:** Calidad, Global, Salta.

### **INTRODUCCION**

La falta de datos de radiación solar medidos en el NOA, que sigan protocolos de medición, calibración y mantenimiento siguiendo estándares internacionales, es un problema que trata de subsanarse a través del uso de bases de datos satelitales.

Los datos de las bases de datos satelitales (BDS) suelen ser interpretados como datos válidos por la mayoría de los que necesitan datos de radiación solar para aplicarlos. Sin embargo, los productos que ofrecen las distintas BDS son estimaciones realizadas con modelos: a partir de información de intensidad del pixel de la imagen (el tamaño de celda), de datos de geometría de posición del satélite, modelos de transmitancia atmosférica, modelos de cielo claro y valores de radiación solar medidos en superficie, se realizan estimaciones para los sitios donde están las estaciones con datos de referencia y se extrapolan para el resto de los sitios. Cuando las áreas estudiadas abarcan distintas orografías y climas, y los datos de referencia no abarcan dichas orografías y climas, existen desviaciones de los valores estimados respecto de los reales. En el caso particular de la provincia de Salta su territorio abarca diferentes orografías y climas por lo que deberían esperarse desvíos entre los valores estimados por BDS y los valores reales.

Sin embargo, para poder determinar que los valores de radiación solar medidos son representativos estadísticamente, deben ser filtrados previamente siguiendo algún protocolo de control de calidad (QC, por sus siglas en ingles). En particular, la metodología seguida por la BSRN ([bsrn.awi.de](http://bsrn.awi.de)) para los datos de sus estaciones de medición (Roesch et al, 2011) es seguida en parte, en lo referido a la determinación de los valores horarios y diarios. Esta metodología (llamada Irradiancia de Dia Medio por Salazar y Checura, 2011) es llamada Ciclo Diurno (Diurnal Cycle) por Roesch.

Para el caso específico de la ciudad de Salta (Lat:-24.7°; Long: -65.4°; Alt: 1200 msnm; Clima Koppen Cwb) se ha encontrado que las BDS SWERA y SSE sobrestiman los valores diarios medios mensuales de la radiación solar global para el sitio (Salazar et al, 2013).

---

<sup>1</sup> Investigador Adjunto CONICET

Así, el propósito de este artículo es analizar si existen variaciones entre los valores determinados para Salta en otros trabajos, comparándolos contra datos de irradiancia solar global, medidos entre 2013-2015 en la ciudad de Salta, al que se le aplican las técnicas de Control de Calidad de la BSRN.

## DATOS Y METODOLOGIA

Los datos medidos en este trabajo provienen de la estación meteorológica instalada en el Campus de la Universidad Nacional de Salta (UNSa). El sensor utilizado para medir irradiancia solar global es un piranómetro Eppely PSP, que es calibrado periódicamente (una vez al año) contra un piranómetro Kipp & Zonen CM21, calibrado a su vez por el grupo GERSolar (UNLu).

Los datos son medidos cada 5 segundos, promediados cada un minuto y guardados como valor de voltaje por un adquisidor Campbell Scientifics CR-1000. Los datos analizados van desde las 00:00 del 1/1/2013 a las 23:59 del 31/12/2015. Dentro de esta base de datos medidos existen huecos y datos erróneos, los que deben detectarse y tomarse en cuenta al hacer estadística.

Los procesos de filtrado seguidos en este trabajo introductorio fueron:

- 1) Determinación de valores con problemas de medición (NaN): dichos valores no fueron considerados en los procesos subsiguientes.
- 2) Calculo de valores horarios usando la técnica de las “4-cajas” de Roech y Long: el cálculo del promedio horario se calculo dividiendo la hora en cuatro periodos de 15 minutos. El cálculo del promedio de la hora *hh* se realiza considerando dos cajas de 15 minutos antes y dos cajas después.
- 3) Control de valores contra Irradiancia extraterrestre  $I_0$ :
- 4) Control de periodo diurno:

La metodología de cálculo es la siguiente:

- i) Una caja de 15 minutos debe tener al menos 60% de sus datos válidos (9 minutos) para ser considerada valida.
- ii) Una hora debe tener sus cuatro cajas de 15 minutos para ser considerada valida.
- iii) Un día debe tener todas sus horas válidas para ser considerado válido.
- iv) Un mes debe tener al menos 60% (17 o 18) de sus días válidos para ser considerado válido.
- v) Un *Mes Representativo* (o sea, un Ciclo Diurno) se expresa como un día medio con sus horas, en el que cada hora *hh* es el promedio de las horas *hh* de los días válidos del mes en cuestión.

Resulta interesante notar que esta metodología permite también calcular el desvío estándar de los valores de irradiancia para cada hora *hh* agregando valiosa información acerca de la dispersión de los datos respecto del valor horario medio.

Así, el resultado final son 12 Meses Representativos por cada año de datos. Si se dispone de varios años de datos se puede obtener una muestra representativa de la variable de estudio (en este caso es la radiación solar global en la ciudad de Salta) haciendo el promedio de los Meses Representativos. En la Tabla 1 se muestran los porcentajes de días válidos de cada mes de cada año de la muestra analizada. En esa Tabla se han sombreado los meses que cumplen con la premisa de tener más de 60% de días válidos.

|     | <b>Año 2013</b> | <b>Año 2014</b> | <b>Año 2015</b> |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|
| Ene | 0.00 %          | 19.35 %         | 87.10 %         |
| Feb | 0.00 %          | 14.29 %         | 75.00 %         |
| Mar | 12.90 %         | 0.00 %          | 96.77 %         |
| Abr | 96.67 %         | 56.67 %         | 90.00 %         |
| May | 64.52 %         | 70.97 %         | 61.29 %         |
| Jun | 93.33 %         | 93.33 %         | 100.00 %        |
| Jul | 96.77 %         | 74.19 %         | 96.77 %         |

|     |         |          |         |
|-----|---------|----------|---------|
| Ago | 54.84 % | 83.87 %  | 74.19 % |
| Sep | 83.33 % | 100.00 % | 66.67 % |
| Oct | 38.71 % | 90.32 %  | 67.74 % |
| Nov | 80.00 % | 76.67 %  | 96.67 % |
| Dic | 54.84 % | 77.42 %  | 35.48 % |

Tabla 1. Cantidad porcentual de días con al menos 60% de días válidos, para los años 2013 a 2015.

Ahora es posible generar una única versión anual de los datos medidos, promediando los valores de los Meses Representativos que cumplen con los requisitos de porcentaje de validez. Para el caso de Enero, el mismo solo puede ser representado por los valores del año 2015 (el Mes Representativo Enero del año 2015), al igual que Febrero y Marzo. El valor más representativo para Abril surgirá de promediar los Meses Representativos Abril de los años 2013 y 2015; para Mayo, Junio y Julio se promediarán los Meses Representativos de los tres años. Así se puede generar un Año Representativo, obtenido a través de promediar Meses Representativos validos (Tabla 2). Los Desvíos Estándares (DesvStd) se calculan de manera análoga a los promedios.

|  |         | Hora Oficial |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |
|--|---------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|
|  |         | 7            | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20 |
| Mes Representativo (W/m <sup>2</sup> ) | Ene     | 17           | 139 | 321 | 522 | 680 | 781 | 784 | 670 | 640 | 562 | 396 | 245 | 102 | 13 |
|  | DesvStd | 14           | 71  | 136 | 194 | 275 | 315 | 338 | 294 | 286 | 304 | 242 | 145 | 59  | 8  |
|  | Feb     | 0            | 74  | 186 | 358 | 606 | 741 | 754 | 692 | 560 | 467 | 283 | 149 | 57  | 2  |
|  | DesvStd | 0            | 53  | 126 | 186 | 257 | 297 | 303 | 358 | 343 | 286 | 180 | 105 | 45  | 3  |
|  | Mar     | 0            | 32  | 142 | 327 | 478 | 652 | 665 | 683 | 609 | 427 | 290 | 140 | 33  | 0  |
|  | DesvStd | 0            | 23  | 88  | 167 | 235 | 265 | 302 | 295 | 298 | 260 | 155 | 73  | 27  | 0  |
|  | Abr     | 0            | 28  | 156 | 331 | 501 | 632 | 663 | 650 | 561 | 423 | 260 | 91  | 7   | 0  |
|  | DesvStd | 0            | 15  | 74  | 126 | 162 | 198 | 239 | 231 | 223 | 180 | 116 | 59  | 8   | 0  |
|  | May     | 0            | 10  | 98  | 231 | 388 | 494 | 568 | 559 | 476 | 350 | 193 | 61  | 0   | 0  |
|  | DesvStd | 0            | 9   | 52  | 109 | 166 | 205 | 213 | 221 | 202 | 162 | 100 | 34  | 0   | 0  |
|  | Jun     | 0            | 0   | 81  | 213 | 361 | 477 | 543 | 538 | 463 | 341 | 192 | 55  | 0   | 0  |
|  | DesvStd | 0            | 0   | 42  | 93  | 140 | 175 | 189 | 184 | 176 | 148 | 93  | 28  | 0   | 0  |
|  | Jul     | 0            | 0   | 106 | 261 | 407 | 532 | 603 | 598 | 543 | 421 | 248 | 85  | 0   | 0  |
|  | DesvStd | 0            | 0   | 46  | 94  | 135 | 156 | 160 | 158 | 146 | 115 | 87  | 35  | 0   | 0  |
|  | Ago     | 0            | 21  | 153 | 327 | 479 | 612 | 680 | 673 | 589 | 450 | 285 | 124 | 5   | 0  |
|  | DesvStd | 0            | 18  | 69  | 124 | 170 | 198 | 209 | 222 | 204 | 174 | 130 | 63  | 5   | 0  |
|  | Sep     | 0            | 58  | 234 | 402 | 566 | 693 | 753 | 736 | 660 | 530 | 342 | 158 | 21  | 0  |
|  | DesvStd | 0            | 28  | 92  | 144 | 197 | 241 | 247 | 262 | 243 | 196 | 144 | 75  | 14  | 0  |
|  | Oct     | 16           | 126 | 297 | 474 | 634 | 754 | 757 | 692 | 588 | 483 | 296 | 133 | 34  | 0  |
|  | DesvStd | 13           | 80  | 168 | 215 | 244 | 275 | 298 | 312 | 298 | 258 | 180 | 92  | 22  | 0  |
|  | Nov     | 37           | 178 | 382 | 572 | 732 | 813 | 838 | 740 | 664 | 506 | 355 | 199 | 62  | 0  |
|  | DesvStd | 18           | 85  | 154 | 219 | 253 | 286 | 319 | 330 | 328 | 272 | 204 | 125 | 44  | 0  |
|  | Dic     | 42           | 192 | 365 | 544 | 706 | 828 | 849 | 781 | 729 | 556 | 393 | 255 | 103 | 7  |
|  | DesvStd | 23           | 105 | 179 | 224 | 280 | 306 | 312 | 297 | 295 | 316 | 246 | 150 | 73  | 10 |

Tabla 2. Valores de los Meses Representativos, y sus desvíos estándar. Estos resultados se obtuvieron de los meses de la Tabla 1.

Esta información resulta valiosa para realizar modelado de sistemas para la ciudad de Salta. Esta extensa información puede condensarse en otra más sencilla de leer, expresando los datos como irradiación solar global  $H_G$  (en  $KWh/m^2$ ) tal y como se aprecia en la Tabla 3. El Desvío Estándar se obtiene de manera análoga a los valores de  $H_G$ , llamándose DST en la Tabla 3.

|     | $H_G$ -DST  | $H_G$       | $H_G$ +DST  |
|-----|-------------|-------------|-------------|
| Ene | <b>3.19</b> | <b>5.87</b> | <b>8.55</b> |
| Feb | <b>2.39</b> | <b>4.93</b> | <b>7.47</b> |
| Mar | <b>2.29</b> | <b>4.48</b> | <b>6.66</b> |
| Abr | <b>2.67</b> | <b>4.30</b> | <b>5.93</b> |
| May | <b>1.96</b> | <b>3.43</b> | <b>4.90</b> |
| Jun | <b>2.00</b> | <b>3.26</b> | <b>4.53</b> |
| Jul | <b>2.67</b> | <b>3.80</b> | <b>4.94</b> |
| Ago | <b>2.81</b> | <b>4.40</b> | <b>5.98</b> |
| Sep | <b>3.27</b> | <b>5.15</b> | <b>7.04</b> |
| Oct | <b>2.83</b> | <b>5.29</b> | <b>7.74</b> |
| Nov | <b>3.44</b> | <b>6.08</b> | <b>8.71</b> |
| Dic | <b>3.54</b> | <b>6.35</b> | <b>9.17</b> |

Tabla 3: Valores de irradiación solar global diaria media mensual  $H_G$  para la ciudad de Salta. Se han agregado los valores extremos esperados dados a partir de los desvíos estándar DST.

### COMPARACION CON DATOS MEDIDOS

Los valores de irradiancia solar presentados en las Tablas 2 y 3 ofrecen una buena idea de cuál es la verdadera distribución de la radiación solar global para la ciudad de Salta. Estos valores pueden compararse contra valores antes medidos para determinar si existen variaciones. Los valores de la Tabla 3 se han comparado contra los valores diarios medios mensuales medidos en Cerrillos desde 1968-1976 y 1982-2000 (Fig. 1) así como datos medidos en el campus de la U.N.Sa. durante 2006-2007 (Salazar et al, 2013). Estos valores se usan de Referencia para futuras comparaciones.

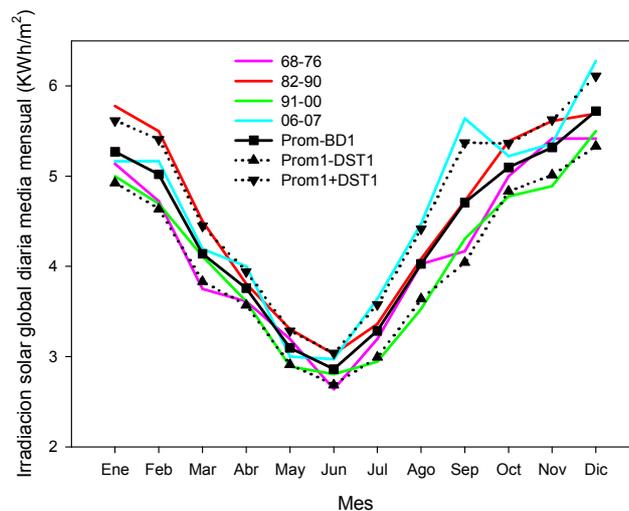


Fig. 1. Valores diarios medios mensuales de radiación solar global para los periodos 1968-1976, 1982-1990, 1991-2000 y 2006-2007. Se han agregado los valores medios de esa base de datos, así como los extremos dados por el desvío estándar.

Los datos utilizados del periodo 2006-2007, si bien fueron medidos con sensores calibrados, no fueron procesados usando ningún protocolo de control de calidad. Los demás datos pertenecen a la base de datos proporcionada por el INTA, por lo que es desconocido si existen protocolos de control de calidad.

En la Fig.1 se muestran también los valores medios de estas muestras, y el rango de dispersión de los valores, para tener noción del grado de coincidencia/dispersión que futuras muestras puedan tener.

Así, en la Fig. 2 se observan los valores de irradiación solar global diarias medias mensuales medidas en la ciudad de Salta (Tabla 3), durante el periodo 2013-2015, utilizando control de calidad de datos. Se observan también los valores medios de los datos de la Fig.1 (los datos de Referencia). Se observa en general una tendencia a superar los valores de Referencia, entrando pocos de estos dentro del rango de dispersión.

## DISCUSIÓN

La metodología utilizada para calcular los Meses Representativos, con los que luego se estiman los valores diarios medios mensuales de irradiación solar global para Salta, es utilizada por la BSRN en los datos de todas sus estaciones meteorológicas. Sin embargo, su certeza como metodología de control de calidad radica en la correcta determinación de los porcentajes solicitados para considerar validas tanto una caja de 15 minutos como la cantidad de días válidos en un mes. Esto es así porque según sean esos valores puede aumentar o disminuir la cantidad de años (es decir, los meses de esos años) que puedan ser utilizados para calcular los Meses Representativos.

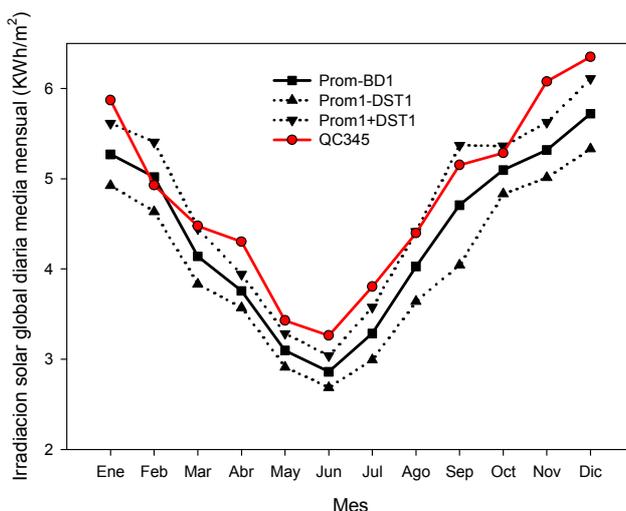


Fig. 2. Comparación de los valores de irradiación solar global diaria media mensual obtenida con el filtrado de BSRN (QC345) contra los valores de referencia de la Fig. 1.

Dadas las características de los datos analizados, donde solo el año 2015 posee datos razonablemente extensos en los meses de Enero Febrero y Marzo, estos tres meses podrían considerarse sesgados, al igual que el mes de Diciembre, del que solo el año 2014 posee en cantidades superiores al 60% de los días. Resta determinar la magnitud de ese sesgo y sus implicancias posteriores (por ejemplo, al usarse los datos de radiación solar global para estimar la radiación solar directa).

## CONCLUSIONES

En este trabajo se han filtrado datos registrados cada 1 minuto de irradiancia solar global medidos en la ciudad de Salta por el periodo 2013-2015. Con ellos se han generado valores horarios diarios medios mensuales de irradiancia global, utilizando el concepto de Ciclo Diurno definido dentro del Control De Calidad de la BSRN.

Los resultados encontrados indican que los datos de referencia medidos por el INTA durante los periodos 1968-1976, 1982-1990 y 1991-2000 subestiman el recurso. Para obtener un resultado concluyente se debe seguir midiendo el recurso, a los efectos de acumular la mayor cantidad de mediciones validas que permitan aumentar la información disponible (más de 5 años). Sin embargo, la metodología es prometedora en cuanto a la posibilidad de generar datos que puedan considerarse estadísticamente validos.

## REFERENCIAS

Roesch A, Wild M, Ohmura A, Dutton E. G., Long C. N, Zhang T (2011) Assessment of BSRN radiation records for the computation of monthly means. Atmos. Meas. Tech. 4, 339–354.

Salazar GA y Checura Díaz MS (2011). ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA IRRADIANCIA SOLAR GLOBAL MEDIANTE ANÁLISIS GRÁFICO Y ESTADÍSTICO. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 15, pp 11.27-11.32.

Salazar GA, Hernandez AL, Echazú R, Saravia LR, Romero GG. (2013) Comparison Between Measured Mean Monthly Solar Insolation Data and Estimates from Swera Database for Salta City (Northwestern Argentina). Electronic Journal of Energy and Environment 1(3), pp 9-20. [bsrn.awi.de](http://bsrn.awi.de)

## **ABSTRACT**

In this work the analysis of values of global solar radiation measured in the city of Salta during the period 2013 to 2015 is performed. The quality control methodology used by the BSRN network is used. The values obtained against reference values measured in the Salta region during the 60s, 70s, 80s, 90s and 00s (non-consecutive) are compared. Results are obtained indicating the importance of having measured data that have been filtered using Quality Control criteria

**Keywords:** Quality, Global, Salta