

ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA TASA DE CAMBIO A CORTO PLAZO DE LA IRRADIANCIA SOLAR CON APLICACIONES EN ENERGÍA FOTOVOLTAICA

Elian Wolfram¹, Facundo Orte², Juan Pallotta², Raúl D'Elía³, Claudio Libertelli³, Facundo Carmona⁴, Eduardo Luccini⁵, Nicolás Porello⁶, Joaquín Ubogui⁶

CEILAP-UNIDEF (CITEDEF-CONICET), Juan Bautista de la Salle 4397, Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina. C.P. B1603ALO; FRBA-UTN; ewolfram@citedef.gob.ar

Recibido 13/08/18, aceptado 26/09/18

RESUMEN: Las nubes son la principal fuente de variación de la irradiancia solar a escala de tiempos cortos, del orden de minutos. Analizar estas perturbaciones en la irradiancia global horizontal es de gran interés para los sistemas de generación fotovoltaicos, debido a que estos cambios repentinos afectan la calidad de la energía eléctrica que producen y podrían afectar la integración a la red eléctrica. El objetivo de este trabajo es caracterizar las tasas de variación de corto plazo de la irradiancia solar global en un plano horizontal debido a la nubosidad sobre la ciudad de Buenos Aires. Las mediciones de tierra son obtenidas por un piranómetro Kipp&Zonen CMP-21, perteneciente a la red de radiación solar SAVER-Net. Los resultados del análisis muestran que el mayor número de tasas de variación se da en intervalos de 1 minuto. Se observa que durante el año 2017, se presentaron más de 1300 saltos de 300 W/m^2 . La cantidad de días en los cuales se presentó por lo menos una de estas variaciones fue de 146. Por lo tanto, se concluye que casi un 50% del total de días en un año se producen saltos mayores a 300 W/m^2 . Esto afecta la eficiencia y vida útil de los inversores presentes en los sistemas fotovoltaicos.

Palabras clave: irradiancia solar, energía solar fotovoltaica, nubes, ramp-rates.

INTRODUCCION

La generación de energía eléctrica a partir de la tecnología solar fotovoltaica es altamente dependiente de las condiciones meteorológicas. Existen múltiples escalas de movimiento y rangos de tiempo relevantes dentro de los fenómenos que ocurren en la atmósfera. Para la utilización de energías renovables variables como es el caso de la energía fotovoltaica, acopladas a una red eléctrica la escala de tiempo de los fenómenos atmosféricos que son relevantes se encuentran primariamente en el rango de las horas a los días. Esto significa que los procesos atmosféricos críticos que deben considerarse incluyen desde el cambio minuto a minuto del pasaje de las nubes sobre una planta (procesos de microescala), cambios bruscos en la cobertura nubosa asociados con sistemas de tiempo de mesoescala, como ondas frontales o líneas de inestabilidad, y cambios en las características generales de la nubosidad asociados con la escala sinóptica de esquemas de alta y baja presión atmosférica. Debido a que la salida de una planta fotovoltaica está altamente correlacionada con la irradiancia espacial promedio sobre los paneles fotovoltaicos que la componen, las características de variabilidad de la irradiancia serán directamente aplicables a la variabilidad de la salida fotovoltaica, si se toma en cuenta el tamaño de la planta. Los cambios de irradiancia provocan que los niveles de potencia de salida de las plantas fotovoltaicas fluctúen, lo que puede tener implicaciones negativas para la gestión de la red eléctrica. En particular, en determinadas condiciones de cobertura nubosa, es posible

1 Inv. Adj. CONICET/CITEDEF; Inv. Facultad Regional Buenos Aires /UTN

2 Inv. CITEDEF

3. CPA CONICET

4. Inv. Asistente CONICET

5. Inv. Adj. CONICET/CEPROCOR

6. Tecnólogo YPF TECNOLOGIA S.A. (Y-TEC)

encontrar intermitencia en la generación debido a la variabilidad de la irradiancia que impacta sobre el plano de los módulos resultante del movimiento de las nubes (Hoff and Perez, 2010; Kankiewicz et al., 2010; Sayeef et al., 2012). Por otro lado las tasas de variación en tiempos cortos dificultan el acople de la energía inyectada a la red a través de los inversores de los sistemas fotovoltaicos (Yehya et al., 2015; Crook et al., 2011; Sánchez Reinoso et al., 2012). A su vez, afectan la calidad de la energía e incluso pueden provocar inestabilidad en la red (T. Reindl et al., 2017). Así, un área clave de investigación para la mitigación de estos efectos negativos es la predicción confiable de la potencia fotovoltaica a través de la predicción precisa y a corto plazo de la intensidad de la radiación solar que impactará sobre la planta (Lorenz et al., 2014). Lew D. et al., (2010) menciona la necesidad de pronósticos precisos de irradiancia en diferentes horizontes de tiempo (desde sub-horarios hasta décadas) para que la generación de energía solar sea económicamente viable.

Por otro lado, el impacto de las nubes sobre la intensidad de la radiación solar tiene dos efectos contrapuestos. Cuando el disco solar es bloqueado por la nube, la nubosidad generalmente produce un efecto atenuador debido a la reducción de la componente directa de la radiación solar. Esta situación conduce a la reducción del recurso energético solar disponible para la generación de energía fotovoltaica, y en general este tipo de efecto es el más estudiado cuando analizamos el impacto de las nubosidad sobre la radiación solar (Wolfram, et al., 2009; Luccini et al., 2010; Vásquez et al., 2013).

Sin embargo, bajo ciertas condiciones de cobertura nubosa, en presencia de cielos parcialmente cubiertos, las nubes pueden producir el efecto opuesto incrementando los niveles de radiación global en superficie por sobre los valores esperados en condiciones de cielo despejado. Este efecto es conocido como efecto de incremento (enhancement) de la radiación solar global y ha sido analizado para distintas porciones del espectro electromagnético (Visible y UV) (Estupiñán et al., 1996; Orte et al., 2009; Wolfram et al., 2013). Este fenómeno se caracteriza por un incremento rápido e intenso de la radiación solar en superficie cuando el Sol es reflejado por el borde de nubes tipo cúmulos. Generalmente, estos eventos de incremento se producen antes o después de una situación de atenuación, con una diferencia del orden de unos pocos minutos, incrementando las variaciones en la irradiancia solar global en periodos de tiempo corto entre las situaciones con disco solar descubierto y bloqueado, conocidas como variaciones rápidas (ramp-rates) de la irradiancia solar.

El objetivo de este trabajo es caracterizar la intensidad y la frecuencia de tasas de variación de irradiancia global en corto plazo (1 a 5 minutos) debido a la nubosidad en la ciudad de Buenos Aires. Para ello se analizaron las mediciones de irradiancia solar global medidos con un piranómetro Kipp&Zonen CMP21 perteneciente al nodo de Villa Martelli de la red SAVER-Net (www.saver-net-satreps.org)

MEDICIONES Y METODOLOGÍA

Para estudiar la tasa de cambio de la irradiancia global en distintos intervalos temporales, se analizó la base de datos del nodo de la red SAVER-Net ubicado en la ciudad de Villa Martelli, Buenos Aires para el año 2017. En este nodo se encuentra instalado un piranómetro de banda ancha (300-2800nm) Kipp&Zonen CMP21. Este instrumento está conectado a un adquisidor de datos marca Campbell CR1000, configurado para adquirir el valor de irradiancia promedio cada 1 minuto, promedio de mediciones instantáneas (alrededor de una por segundo) que el instrumento más el adquisidor obtienen durante el minuto transcurrido. Las mediciones que conforman la base de datos utilizada para este estudio comprenden ángulos cenitales menores a 85°, para el año 2017. Los instrumentos de la red SAVER-Net de radiación solar operada en conjunto con el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) cuentan con la limpieza diaria y tienen control de temperatura. Hasta el momento, los piranómetros de la red SAVER-Net no hay sido sometidos a calibraciones extras, y los datos radiométricos son obtenidos a partir de las constantes de sensibilidad aportadas por la fábrica. Los instrumentos instalados en el nodo Villa Martelli, son sometidos a los mismos controles y mantenimientos rutinarios que impone el SMN al resto de las estaciones. Detalles del procedimiento de mantenimiento rutinario pueden encontrarse Barbero et al, 2017.

La alta resolución temporal de adquisición permite observar la variación de la irradiancia en superficie a corto plazo. Las tasas de variación para intervalos de un minuto son calculadas haciendo la

diferencia entre mediciones sucesivas. Para intervalos de tiempo mayores, las mediciones minutales de irradiancia global registradas son promediadas en la ventana de tiempo Δt definida (2 a 5 minutos) y luego se calcula la diferencia entre promedios sucesivos. Con el objetivo de caracterizar las variaciones a corto plazo de la irradiancia solar horizontal en Buenos Aires debido a la nubosidad, se analiza la frecuencia de ocurrencia de diferentes tasas de cambio para diferentes ventanas de tiempo, a través de histogramas y se cuantifican los días que se presenta al menos un salto de irradiancia global. Cuando incrementamos la ventana de tiempo Δt se degrada la resolución temporal obteniendo menor cantidad de intervalos (la muestra a analizar disminuye). Con el objetivo de comparar la ocurrencia de casos de ramprates entre ventanas temporales, también se analiza la frecuencia relativa de ocurrencia la cual es independiente del tamaño de la muestra.

RESULTADOS

En la figura 1 (curva azul) se observa un ejemplo de la medición de irradiancia global observada por el piranómetro para el día 25 de noviembre de 2017 y la irradiancia modelada calculada con el modelo Global C Iqbal (curva roja) (Iqbal, 1983), para una situación de cielo despejado (izquierda). El modelo Global C tiene como parámetros de entrada, además de la fecha y la posición geográfica que permiten determinar la posición del sol a lo largo del año, variables de composición como el contenido total de ozono y contenido total de aerosoles, temperatura y presión atmosféricas a nivel del suelo y características ópticas de la atmósfera como el albedo del suelo, el espesor óptico de aerosoles, el exponente de Angstrom y el albedo de dispersión simple (single scattering albedo). Debido a que en el presente trabajo, el modelo paramétrico solo es utilizado con fines comparativos de la variabilidad que producen las nubes con respecto a situaciones de cielos claros, las simulaciones se realizaron tomando valores medios anuales de ozono, espesor óptico de aerosoles y albedo de dispersión simple de los aerosoles y albedo del suelo para Buenos Aires, y solo se varió la fecha y la hora de entrada al modelo. Se observa que el modelo se corresponde con las mediciones en situaciones de cielo despejado. La diferencia entre los valores medidos y modelados en horas cercadas a la salida del sol para este día, se deben a la obstrucción de los edificios que se encuentran hacia el SE del piranómetro, bloqueando por unos minutos la componente directa del sol en esta época del año.

A la derecha se presenta la irradiancia medida en presencia de nubes para el día 17 de diciembre de 2017 y la obtenida por el modelo para cielo despejado. En este caso, se observa que el efecto de las nubes sobre la irradiancia puede ser de atenuación o de incremento respecto a la que se esperaría para un día de cielo despejado. La atenuación se presenta cuando la nube oscurece la componente directa de la radiación proveniente del sol (medición por debajo del modelo), mientras que situaciones de incremento se presentan por la presencia de nubes quebradas en el cielo, cuando la componente directa no es obstruida y la reflexión de la radiación solar en el borde de la nube incrementa la componente difusa, produciendo una irradiancia en superficie mayor a la que se esperaría en una situación de cielo despejado (medición por encima del modelo).

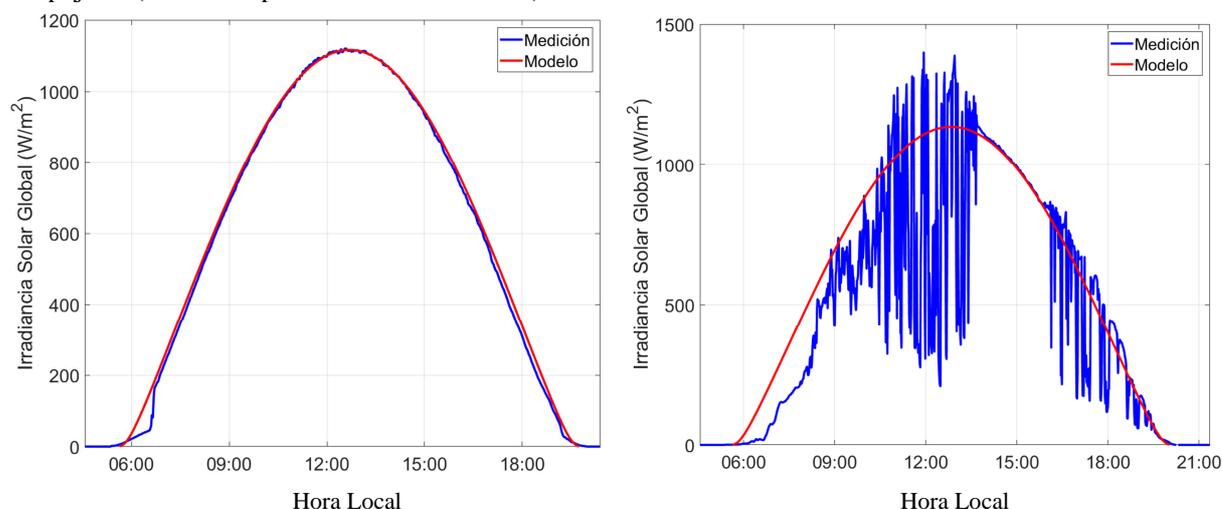


Figura 1: Irradiancia solar global en plano horizontal, medida (azul) y modelada (roja) para un día despejado (Izquierdo) y para un día con nubes dispersas (azul).

Como se observa en la figura 1, estas situaciones sucesivas de atenuación y/o incremento, conducen a saltos de irradiancia significativos en periodos cortos de tiempo (intermitencia).

La figura 2 presenta la irradiancia solar en superficie para el mismo día (17/12/2017) entre las 12 y las 13 horas y las imágenes de la cámara de observación de cielo SONA (Modelo 201D) instalada en el mismo sitio, donde se observa la condición de nubosidad presente para tres minutos consecutivos (12:19, 12:20, 12:21 horas). La presencia de nubes tipo cumulus disperso explica la intermitencia que se presenta en la irradiancia global durante ese día.

A modo de ejemplo, se analizan dos situaciones de variaciones rápidas producidas con diferencias de un minuto (Δt), donde la irradiancia solar horizontal sufrió aumentos drásticos respecto al valor del minuto anterior, como consecuencia del paso de la nube. En las imágenes observadas por la cámara de observación cielo se muestra la situación de la nubosidad para cada minuto analizado. Cuando las nubes ocultan la irradiancia solar directa (12:19 hs., punto a) se produce la atenuación, con un valor de irradiancia (I) de 463 W/m², seguido por una situación de incremento de la radiación en el minuto siguiente (12:20 hs., punto b), alcanzando los 1326 W/m². Por lo tanto, el aumento de la irradiancia global para este caso fue de alrededor de 200% respecto del minuto anterior ($\Delta I_1=863$ W/m²). Si comparamos con el valor modelado, se observa un incremento del 18% respecto de una situación con cielo despejado. En el minuto siguiente (12:21, punto c), se observa que la nube vuelve a bloquear la radiación solar directa y la irradiancia vuelve a caer hasta 944 W/m². Un segundo ejemplo se observa entre el minuto 12:29 y 12:30 ($\Delta t_2=1$ minuto), donde se produce un aumento de $\Delta I_2=757$ W/m².

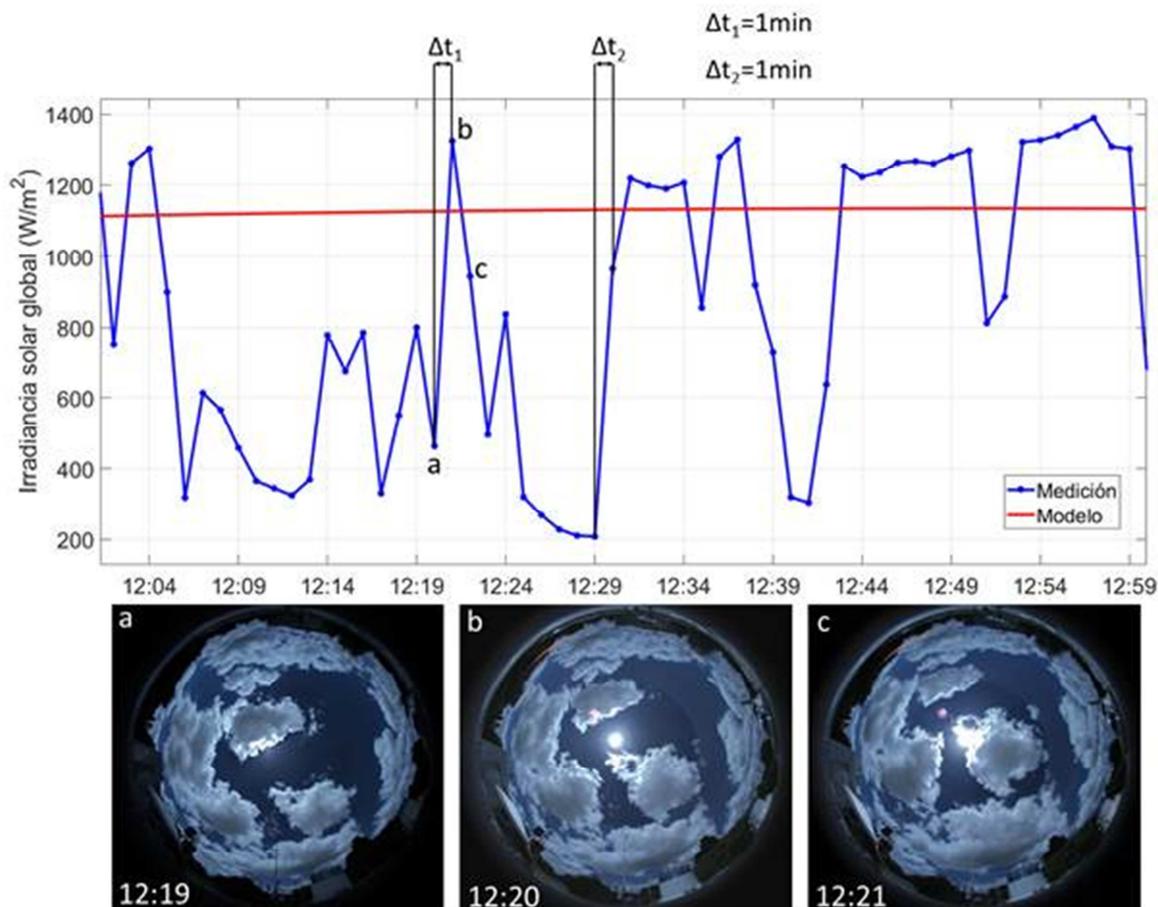


Figura 2: Panel superior: Irradiancia solar global en plano horizontal, medida (azul) y modelada para cielo despejado (roja) entre las 12 y las 13 hora local. (1 dato por minuto). Panel inferior: Secuencia de imágenes del cielo de la cámara SONA 201D que corresponden al punto a, b y c.

Con el objetivo de caracterizar estas variaciones a corto plazo de la irradiancia en Buenos Aires debido a la nubosidad, se analizó la frecuencia de ocurrencia de las tasas de cambio de la de la irradiancia global superficial para diferentes ventanas de tiempo, a través de los histogramas de la figura 3. El eje

X define las categorías de tasas de cambio mayores a un umbral en W/m^2 , mientras que en el eje Y se presenta la frecuencia para cada una de las categorías. Los diferentes histogramas corresponden a diferentes ventanas temporales analizadas. La disminución de la frecuencia con el aumento de categoría para cada histograma se presenta en proporciones similares entre los diferentes histogramas.

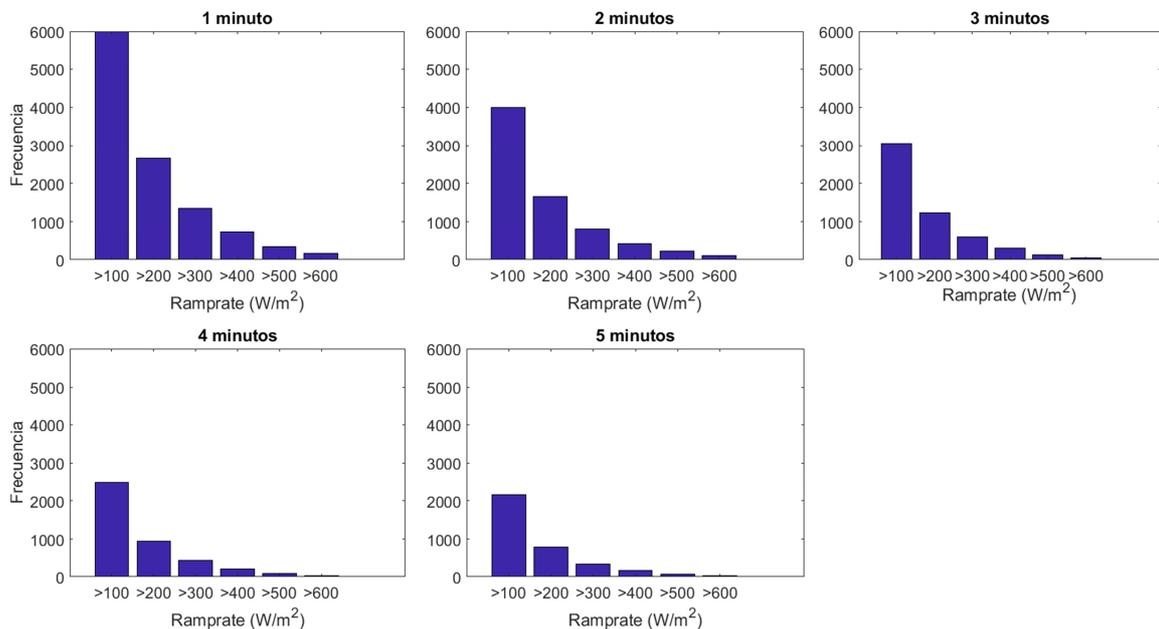


Figura 3. Histogramas de frecuencia de ocurrencia de ramp-rate para el año 2017 en el nodo Villa Martelli de la red SAVER-Net

Como es de esperar, cuando comparamos los histogramas para ventanas temporales diferentes, se observa que la frecuencia de ramp-rates de todas las categorías disminuye a medida que se incrementa la ventana temporal, dado que la muestra total (cantidad de intervalos totales) también decrece. Pero si observamos la frecuencia relativa de ramprates (figura 4), se presenta un aumento para ventanas temporales mayores.

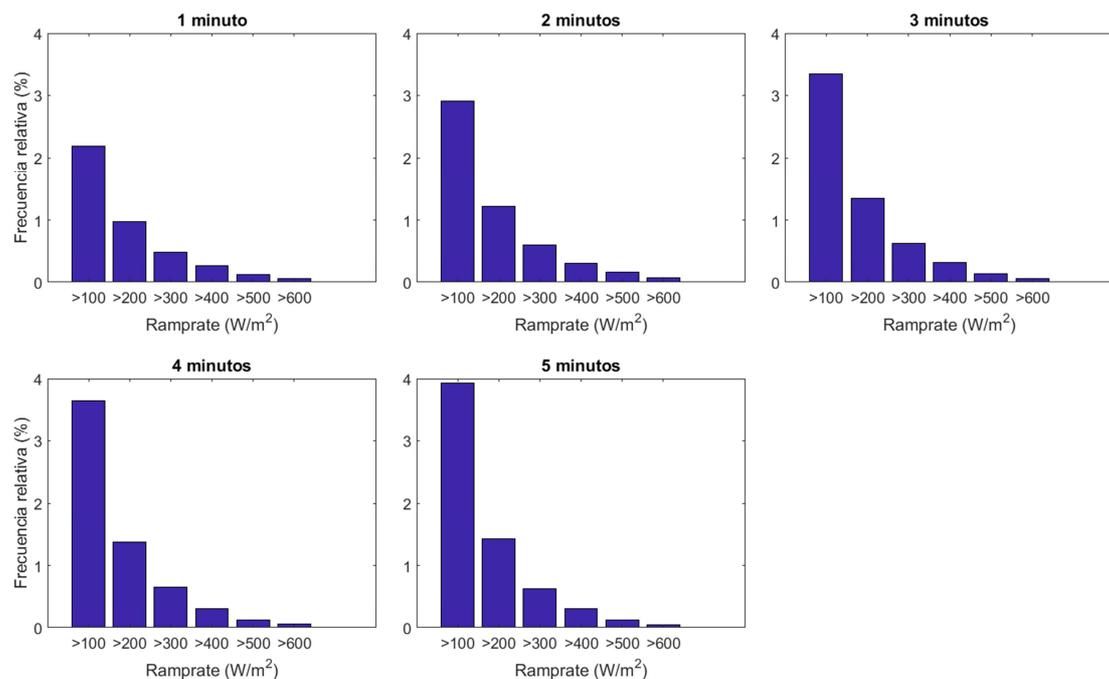


Figura 4. Histogramas de frecuencia relativa de ocurrencia de ramp-rate para el año 2017 en el nodo Villa Martelli de la red SAVER-Net.

Finalmente, en la Tabla 1 se resume la frecuencia de los ramp-rate y se cuantifican la cantidad de días en los que se presentó, como mínimo, un ramp-rate determinado en el año 2017. Se observa que la cantidad de días en los que se presentan al menos 1 ramp-rate mayor a 100 W/m^2 con un Δt de un minuto fue mayor a 250. Por lo tanto, en una proporción mayor al 70% del total de días anuales se presenta al menos un ramp-rate de 100 W/m^2 . Si analizamos la categoría de tasas de variación mayores a 400 W/m^2 , se observa una disminución del número de días con el aumento de la ventana temporal, siendo de 107 días para 1 minuto (~30% del total de días anuales) y 64 días considerando una ventana de 5 minutos (~18% del total de días anuales).

Analizando las frecuencias relativas entre ventanas temporales se observa que aumentan el porcentaje de ramprates cuando se incrementa Δt para tasas de cambio >100 y >200 . Para las categorías de tasas de cambio mayores no se observa un incremento sostenido en la frecuencia relativa con el aumento de Δt , sino que se mantiene casi constante.

TC (W/m^2)	1 min			2 min			3 min			4 min			5 min		
	FA	ND	FR (%)	RR	ND	FR (%)									
> 100	5988	255	2,19	3992	267	2,91	3064	264	3,35	2505	269	3,65	2159	266	3,93
> 200	2664	196	0,97	1667	188	1,22	1234	183	1,35	942	180	1,37	786	176	1,43
> 300	1342	146	0,49	824	133	0,60	580	121	0,63	448	125	0,65	349	106	0,64
> 400	711	107	0,26	413	95	0,30	288	81	0,31	208	71	0,30	164	64	0,30
> 500	345	69	0,13	216	62	0,16	125	44	0,14	81	41	0,12	67	38	0,12
> 600	160	36	0,06	99	33	0,07	52	24	0,06	36	23	0,05	24	18	0,04

Tabla 1. Frecuencia absoluta (FA) y frecuencia relativa (FR) de ocurrencia de ramp-rate en las tasas de cambio (TC). Número de días (ND) en los cuales hubo al menos un ramp-rate durante el año 2017.

Cabe mencionar que este estudio de las variación rápidas que producen las nubes en movimiento en escalas temporales del orden de minutos es un estudio del “peor caso” ya que se realizan mediciones puntuales en el espacio y una planta fotovoltaica de potencia media tiene una cobertura espacial de algunas hectáreas, lo que filtra hasta cierto grado las fluctuaciones en la generación, principalmente las de muy corto plazo. Este efecto fue estudiado en el trabajo de Kankiewicz et al, (2010), donde se analizó la generación de diferentes porciones espaciales de una misma planta de 25 MW subdividida en contenedores o subconjuntos de paneles que alimentan la subestación. En el trabajo se evidencia, que las fluctuaciones en la generación son más importantes cuando la cobertura espacial de los containers o conjunto de ellos es más pequeño, mientras que las fluctuaciones sobre toda la planta son menores.

CONCLUSIONES

A través de este estudio se logró cuantificar la frecuencia de tasas de variación de irradiancia global solar en superficie para la ciudad de Buenos Aires durante el año 2017, en diferentes ventanas temporales (1 a 5 minutos). Además, se cuantificaron los días en los cuales se produjo al menos un ramp-rate. Se observa que se presentaron más de 1300 saltos de 300 W/m^2 dentro del período de estudio. Se contabilizaron 145 días en los cuales se presentó por lo menos una de estas variaciones. Por lo tanto, para áreas ubicadas en Buenos Aires o en las cercanías, se concluye hay un 50% de días por año en los que se producen saltos mayores a 300 W/m^2 que podrían afectar la eficiencia de las centrales fotovoltaicas que se instalen en esta zona del país, pudiendo afectar la integración de la energía generada en la red interconectada.

Este tipo de estudio aporta información útil para la evaluación de mecanismos de mitigación de la intermitencia en la generación basados en el pronóstico de la irradiancia solar en escalas temporales cortas, del orden de minutos, y brinda una idea de frecuencia de ocurrencia y orden de magnitud de las variaciones de irradiancia sobre Buenos.

Se planea extender este estudio al resto de las estaciones de la red SAVER-Net y ampliar la serie temporal analizada, que permitirán caracterizar las tasas de variaciones de la irradiancia solar en corto

plazo para otras regiones del país, donde la morfogénesis de las nubes propias de regiones climáticas diversas, pueda afectar este tipo de variaciones rápidas.

REFERENCIAS

- Barbero, A., D'Elía, R., Wolfram, E. y Sánchez, R., 2017: Sensores de radiación : UVA, UVB y Piranómetro - Mantenimiento. Nota Técnica SMN 2017-20.
- Crook J., Jones L., Forste P., Crook R. (2011). Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output. *Energy Environ. Sci.*, 4, 3101-3109
- Estupiñan, J.G., Raman, S., Grescenti, G.H., Streicher, J.J., Barnard, W.F., 1996. Effects of clouds and haze on UV-B radiation. *J. Geophys. Res.* 101, 16807–16816.6.
- Hoff, T.E., Perez, R. 2010. “Quantifying PV power Output Variability.” *Solar Energy* 84 (2010) 1782-1793.
- Kankiewicz J. Adam, Clean Power Research, Seattle, WA; and M. Sengupta and D. Moon, Proc. ASES National Solar, 2010haze on UV-B radiation. *J. of Geophys. Res.*, vol.101, no.D11, pp.16807-16816.
- Lew D., Miller N., Clark K., Jordan G., Gao Z. (2010). Impact of High Solar Penetration in the Western Interconnection, NREL Technical Report (NREL/TP-5500-49667).
- Lorenz E., Kühnert J., Heinemann D. (2014). Overview of irradiance and photovoltaic power prediction, in *Weather Matters for Energy*. Springer, New York, pp. 429–454
- Luccini E., Rivas M., Rojas E., Piacentini R., Canziani P. (2010). Parámetros ópticos de nubes en un sitio costero del desierto de Atacama, Chile, a partir de mediciones piranométricas de irradiancia solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 14, 11.29-11.34, 2010.
- Iqbal, M. (1983). *An Introduction to Solar Radiation*. Academic. Press, Toronto
- Orte F., Wolfram E., Salvador J., D'Elia R., Marinelli C., Quel E. (2009). Estudio de la Influencia de las Nubes sobre la Radiación UV en la Ciudad de Río Gallegos. *Anales AFA*, vol. 21, pp. 251-254, Rosario, Argentina.
- Reindl T., Walsh W., Yanqin Z., Bieri M. (2017). Energy meteorology for accurate forecasting of PV power output on different time horizons. *SERIS*, Singapore, NUS, 7 Eng. Drive, 117574.
- Sánchez Reinoso C. R., Milone D. H. y Buitrago R. H. (2012). Simulation of photovoltaic centrals under dynamic shading, *Applied Energy*, Elsevier Science. ISSN: 0306-2619.
- Sayeeff S., Heslop S., Cornforth D., Moore T., Percy S., Ward J., Berry A., Rowe D. (2012). Solar intermittency: Australia's clean energy challenge: characterising the effect of high penetration solar intermittency on Australian electricity networks. *CSIRO*, Sydney, Australia.
- Schmidt, T., Calais, M., Roy, E., Burton, A., Heinemann, D., Kilper, T., and Carter, C. (2017): Short-term solar forecasting based on sky images to enable higher PV generation in remote electricity networks, *Renew. Energy Environ. Sustain.* 2, 23. (DOI: 10.1051/rees/2017028)
- Vásquez P., Wolfram E., Salvador J., Masi S., Repetto C., Orte F., D'Elia R. y Quel E. (2013). Estudio de la variación estacional de la radiación Solar global visible y el impacto de la cobertura nubosa en Buenos Aires. *Contaminación atmosférica e hídrica en Argentina: contribuciones de la IV Reunión Anual PROIMCA y II Reunión Anual PRODECA*. ISBN 978-950-42-0150-2; pp 614-622.
- Wolfram E., Salvador J., D'Elia R., Quel E. (2009). UV ground based measurements in Río Gallegos, Argentina. *Current Problems in Atmospheric Radiation (IRS)*, p.1100351-354.
- Wolfram E., Salvador J., Orte F., Bulnes D., D'Elia R., Antón M., Alados-Arboledas L. y Quel E. (2013). Study Of Cloud Enhanced Surface UV Radiation At OAPA, Río Gallegos, Argentina. *AIP C. Proceedings*. Melville, New York, vol.1531 n°. p907 - 910.

Yehya A., Ahmed A., Iyad M., Ali A. (2015). Cloud Effect on Power Generation of Grid Connected Small PV Systems. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol:9, No:9.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto SAVER-Net fue financiado por la Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) y la Agencia de Ciencia y Tecnología de Japón (JST). Los autores desean agradecer a JICA y JST. Los autores agradecen los valiosos aportes de los revisores, que lograron mejorar la claridad y calidad del presente artículo.

ABSTRACT The clouds are the main source of variation of solar irradiance on a short time scale, of the order of minutes. Analyzing these disturbances in horizontal global irradiance is of great interest for photovoltaic generation systems, because these sudden changes affect the quality of the electrical energy they produce and their capacity factor. The objective of this work is to characterize the short term variation rates of the global solar irradiance in a horizontal plane due to the cloudiness over the city of Buenos Aires. Earth measurements are obtained by a Kipp & Zonen CMP-21 pyranometer, belonging to the SAVER-Net solar radiation network. The results of the analysis show that the greatest number of variation rates occurs in 1-minute intervals. It is observed that during the year 2017, more than 1300 jumps of $300 \text{ W} / \text{m}^2$ were presented. The number of days in which at least one of these variations occurred was 146. Therefore, it is concluded that almost 50% of the total of days in a year produce jumps greater than $300 \text{ W} / \text{m}^2$. This affects the efficiency and useful life of the investors present in photovoltaic systems.

Keywords: Solar Irradiance, Solar Photovoltaic Energy, clouds, ramp rate