

Retratos de la conexión fotovoltaica a la red (XV): SOBRE LA ENERGÍA QUE RINDEN LAS CENTRALES

E. Lorenzo
Instituto de Energía Solar – Universidad Politécnica de Madrid

Introducción

El grueso de las centrales fotovoltaicas instaladas en España al amparo de los RD 661/2007 y 1578/2008 ha cumplido su primer año de funcionamiento y, al socaire de las obligaciones de sus operadores para con sus dueños (los de las centrales, no los de los operadores), va llegando al IES-UPM cumplida información de lo que han producido unas cuantas (del orden de 150 MW). La buena noticia es que muchas, quizá el 80%, han producido bastante; incluso por encima de lo que se había estimado en el momento de su diseño. La mala es que hay otras, digamos el 20% restante, a las que no les pasa lo mismo. Así sabemos de centrales con generadores estáticos que llegan a los 1.500 kWh/kW y de centrales con seguidores que llegan a 2.300 kWh/kW. Pero también sabemos de otras cuya producción es significativamente inferior a tales cifras; y de otras que presentan síntomas preocupantes, como, por ejemplo, las células calientes tratadas en el anterior retrato¹. Por aquello de que “a perro flaco todo son pulgas”, no es raro que una cosa vaya aparejada con la otra

La vida es como es, tiene sus reglas propias, y más vale empeño en entenderlas que engallamiento a priori, o lamento a posteriori. A mi entender, esos datos dicen que la página de los 4 GW fotovoltaicos en España, hijos de esos RDs, está razonablemente bien escrita; y aun podría mejorar la calificación si tuviese en cuenta (que no me apetece) que el escrito hubo de hacerse con no poca prisa. Pero también dicen que hay mucho de lo que aprender, para seguir escribiendo y que el escrito sea cada vez mejor. Aquí cabe citar a Machado. En el V de sus Proverbios y Cantares plantea una adivinanza:

*Entre el vivir y el soñar
hay una tercera cosa.
Adivínala*

La solución de la adivinanza la da el propio poeta más adelante en el mismo conjunto de poemas, con el LIII:

*Tras el vivir y el soñar,
está lo que más importa:
Despertar*

Y a ese despertar pretende contribuir este retrato, tratando de asuntos tan variopintos como las buenas prácticas de ingeniería, los regalos del cielo, el manido *PR*, las medidas de campo y las células calientes. Quien quiera, puede entenderlos como

¹ E. Lorenzo, F. Martínez, R. Moretón, Retratos de la conexión fotovoltaica a la red (XIV): *El asunto de las células calientes*, ERA SOLAR nº 153, pgs. 8-20 (2009).

invitación a ese frotarse los ojos, para “desleñañar”², tan típico de la primera reacción al canto del despertador.

Donde dije...

Primero, me apetece responder a lo que muchos me han preguntado: ¿sigues pensando que no se puede pasar de 1.300 kWh/kW?, aludiendo a un artículo³ mío de hace ya 8 años. Los datos de más atrás me ahorrarían la respuesta –es obvio que ahora digo que dan más– y no tendría mayor dificultad en envainármela reconociendo craso error en lo dicho, si no fuera porque cuando se atiende a todo lo dicho, y no sólo al título, el error, si es que lo hubo, no fue tan craso. Del título diré que era añagaza para llamar la atención; y puesto que lo consiguió, no cabe arrepentirme de él. Salvando las diferencias, el preclaro Richard Feynman, que recibió el premio Nobel de física en 1965, no tenía reparo en confesar que para atraer público a sus conferencias ponía títulos incompresibles. Del todo lo dicho quiero recuperar dos cosas. La primera hace referencia a la potencia nominal de los generadores (la que figura en la factura) y a la que tienen en realidad. Decía entonces: “...hoy por hoy (...) la potencia suministrada suele estar entre un 5% y un 10% por debajo de lo que anuncian los catálogos y, algunas veces, es incluso inferior a ese rango”; proponía como solución: “...establecer prácticas de ingeniería responsable...”, y comparaba esto con el viejo dicho de ponerle el cascabel al gato. Y la mezcla de ambas en el título funcionó: “El mito del 1.300 y el cascabel del gato” es, quizá, el más mentado de todos los artículos que he escrito.

Hoy digo, sigo diciendo como entonces, que la potencia real de los generadores representa un papel clave en la energía que producen. Como esto no es más que una obviedad, quiero decir que lo digo sin ninguna solemnidad. Pues bien, ha ocurrido que el crecimiento del mercado, y en particular de las centrales ejecutadas bajo la modalidad de la financiación por proyecto (*Project Finance*) ha traído algunas dosis de ingeniería responsable, que han acercado los kW reales a los nominales. Por centrar las ideas, podemos cifrar en un 5% la mejora asociada a este acercamiento. Y de esto, que es un activo nuestro (del fotovoltaico español) a reivindicar como loable, me alegro muchísimo. Como esta alegría también es obvia, quiero decir otra vez que la manifiesto aquí sin ninguna solemnidad. También ha contribuido a la holgura de la producción energética el buen hacer de los ingenieros que se ocupan en los inversores, cuya eficiencia es hoy un 5% superior a lo que era en la década de los 90.

Y al 10% de la tecnología (5% del mejor control de módulos, más 5% del mejor hacer de los inversores) hay que añadir otro 5 o 10% que, para bien o para mal, está regalando el cielo. Veamos:

El cielo ha jugado suavemente a tu favor

“Todo esto digo, ¡oh Sancho!, para que no atribuyas a tus merecimientos la merced recibida, sino que des gracias al cielo, que dispone suavemente las cosas...”

Quijote, 2ª parte, Cap XLII

² El vocablo “desleñañar” no figura en el diccionario de la RAE: El atrevimiento de utilizarlo aquí obedece a que un amigo me dijo que, aún así, se entiende bien.

³ E. Lorenzo, *El mito del 1.300 y el cascabel del gato*, ERA SOLAR nº 107, pgs. 21-28 (2002).

Así previene don Quijote a Sancho Panza contra la soberbia de llegar a atribuirse todo el mérito de su nombramiento como gobernador de la ínsula Barataria. Y viene aquí de perillas, porque resulta que parte del mérito de las producciones energéticas elevadas no reside en el hacer tecnológico sino en que la radiación llegada del cielo en el último año ha sido en general significativamente superior a la que indican las bases de datos (PVGIS, Meteonorm, etc.), en las que se apoyó la correspondiente predicción. La tabla 1 presenta los valores de la irradiación global horizontal, registrados en 10 centrales fotovoltaicas. No figura más que la provincia para evitar la identificación. Incluso cuando no haya nada que ocultar, el trabajo del IES-UPM en los proyectos es estrictamente confidencial.

Provincia	Piranómetro	SoDa	PVGIS	Piranómetro versus PVGIS	SoDa versus PVGIS	Piranómetro versus SoDa
Huelva	1.850	1.991	1.749	5,8	138	-7,1
Cáceres	1.780	1.850	1.632	9,1	13,4	-3,8
Sevilla	1.757	2.017	1.747	0,5	15,5	-12,9
Sevilla	1.728	2.006	1.744	-0,9	15,0	-13,9
Valladolid	1.749	1.748	1.546	13	13,1	0
Cuenca	1.791	1.820	1.645	8,9	10,6	-1,6
Albacete	1.680	1.805	1.675	0,3	7,8	-6,9
Murcia	1.702	1.938	1.734	-1,6	11,8	-12,1
Murcia	1.757	1.991	1.752	0,2	13,6	-11,8
Cádiz	1.905	2.018	1.746	9,1	15,6	-5,6
Promedio	1.770	1.918	1.697	4,3	13,0	-7,6

Tabla 1. Valores de la irradiación global anual horizontal en 10 centrales fotovoltaicas. Los valores señalados como Piranómetro y SoDa corresponden al primer año de funcionamiento de las centrales que, grosso modo, coincide con el 2009. Los señalados como PVGIS corresponden a valores medios durante los últimos 20 años, y fueron utilizados en la predicción incluida en el diseño de las centrales.

Los datos de las centrales provienen de piranómetros, generalmente de Clase II, integrados en las estaciones meteorológicas que, por imperativo contractual, suelen acompañar a las centrales. La tabla incluye también los datos proporcionados por el servicio SoDa para el cuadrado de 4 km de lado donde se ubica cada central. Fijándose en la primera columna de las comparaciones, resulta que la radiación medida en las centrales (piranómetro) ha sido, en promedio, un 4,3% superior a la prevista en el diseño (PVGIS); y que la diferencia se aproxima al 10% en bastantes casos. La comparación de los valores de SoDa versus PVGIS, representan otro argumento a favor del incremento de la radiación. Ambos se apoyan en la misma base experimental (observaciones satelitales), lo que confiere un cierto valor adicional a la comparación, pero PVGIS recoge los valores medios durante los últimos 20 años, mientras que SoDa se refiere sólo al último año. Ahora el fenómeno se revela como general y tan grande como el 13%.

El incremento de la radiación solar en los últimos años parece ser un fenómeno bastante extendido, puesto de manifiesto en numerosas observaciones, y para el que se han apuntado explicaciones basadas en la disminución de aerosoles en la atmósfera, a consecuencia de la aplicación en Europa de leyes para la reducción de emisiones de

gases generadores de lluvia ácida (SO_x y NO_x)⁴. Es buena noticia para algunos, entre ellos los propietarios de plantas fotovoltaicas; pero no para todos, porque resulta que, mientras estas emisiones se están reduciendo, las de gases de invernadero (CO_2 , CH_4 , etc.) están aumentando. Lo primero aumenta la radiación incidente y lo segundo aumenta el atrapamiento de calor, siendo ambos aceleradores del cambio climático.

En otro orden de cosas, la tabla 1 muestra importantes diferencias entre los registros de los piranómetros ubicados en las centrales y los datos de SoDa. Con todos los matices que se quiera, opino que estas diferencias pueden entenderse como una llamada de atención sobre las dificultades que entraña la medida de la radiación solar, al menos cuando se exija mucha precisión. Y resulta que ésta es justamente la exigencia que parece subyacer a la mayoría de los contratos que regulan la construcción y el funcionamiento de las centrales, cuando establecen premios y castigos sobre la base de valores de *PR* que no se diferencian más que en la segunda cifra decimal. Volveré al asunto del *PR* más adelante.

...sigo diciendo

Grosso modo, 10% de la tecnología y 10% de regalo del cielo hacen que el 1.300 kWh/kW aquel, para ser actualizado, debe multiplicarse por 1,2. Entonces se obtienen 1.560 kWh/kW, que coinciden bastante bien con los datos presentados al comienzo del artículo (el 1300 era para generadores estáticos). Por eso pienso que aquel 1.300 no fue error, sino fotografía de lo que ocurría hace 8 años, y también que aquella máquina de fotos (el procedimiento de estimación que describía el artículo) todavía permite fotografiar lo que ocurre hoy. Y digo más (hermanos Hernández y Fernandez “dixit”): que sigo diciendo que hay que seguir empeñándose en prácticas de ingeniería responsable, inspiradas por la especificación de expectativas alcanzables y por su rigurosa comprobación experimental. Y ahora puedo decirlo aún más de lo que lo decía entonces, porque en el IES-UPM tenemos cumplidas evidencias de que ese citado 20% de centrales que no funciona a carta cabal tienen en común el haberse hurtado a tales prácticas. Y creo que mi obligación es decirlo, aún más, porque también tenemos evidencias de que la tendencia a hurtarse a tales prácticas goza de buena salud

La Cofradía del Misterio Diferencial, por ejemplo, anda bien de afiliación. Sus devotos rezan más o menos así: el producto que yo vendo es el mejor de todos, porque tiene una novedad tan novedosa que escapa al entendimiento de los españolitos de a pie; no intentes entenderlo, simplemente por venir de donde viene, acepta lo que te digo como artículo de fe. La Cofradía de la Experiencia Infusa también anda bien de militancia. Sus devotos creen que el influjo de su mera presencia es suficiente para que la realidad se vuelva armónica y exenta de todo engaño o equivocación; rezan apoyándose en estampitas con profusión de colorines y hacen gala de mucha presencia en todo tipo de reuniones, en las que gustan de posar con aire inquisitorial. Ambas cofradías se hermanan en la aversión a ir al campo, voltímetro en mano, a enfrentar su fe a los fríos vientos de la realidad. Lo consideran tarea más bien propia de descreídos, a los que, si acaso, dedican alguna benévola sonrisa pero nunca mayor consideración. Habrá quien piense que mencionar aquí estas cofradías es crítica inapropiada, por satírica, irreverente e inoportuna. A estos replico que está lejos de mi intención criticar a nadie en particular. Bien sé que la baraja se reparte de forma bastante aleatoria, y que cada cual tiene que

⁴ El lector interesado encontrará información buscando en la Web por “oscurecimiento global”.

jugar con las cartas que le tocan, de forma que la patria más común es el fardo de miserias que todos llevamos en el equipaje. Pero a lo que si me veo con derecho es a hacer una higa (cariñosa, pero higa al fin), a quienes con el pretexto de grandes maravillas, pretenden excluir a los de a pié; y también a quienes creen que han llegado a saber más que los demás y sin pasar por el hacer.

Lo más molesto de las religiones es que todos los creyentes se empeñan en manifestar públicamente que la suya es la única verdadera. Por mi parte, pienso que en esto de la técnica un tantito de descreimiento es mucho más saludable que tanta fe, así que dudo de toda novedad que no puedo entender, y rezo rogando que aumente la concurrencia al campo. Para tal rezo tengo otra cita de los Proverbios y Cantares de Machado, esta vez el I:

*El ojo que ves no es
ojo porque tú lo veas,
es ojo porque te ve.*

A vueltas con el PR

Son multitud los que hablan, sin olvidar poner cara seria, del *PR* de sus sistemas, mentando cifras que siempre están en el rango del 80% para arriba, y con las que este servidor de ustedes no termina de conformarse del todo. Antes de entrar en materia, quiero aclarar que no tengo nada en contra del concepto del *PR*. Y digo esto porque son varios los que me han dicho textualmente: “Tú estás en contra del *PR*” Pues bien, al margen de que no alcanzo a comprender como se puede estar en contra de un concepto, mi réplica es que el *PR* incluso me gusta. En su calidad de eficiencia, mide el grado de acercamiento a un cierto ideal y, por tanto, permite calificar a los sistemas. A condición, claro está, de que, primero, se entienda cual es ese ideal, y, segundo, que el acercamiento se mida con rigor en vez de fiarlo a la intuición. El *PR* se define como la relación entre la energía efectivamente inyectada en la red por una central fotovoltaica, $E_{AC,a}$, por unidad de potencia nominal, P^* , y la irradiación incidente sobre la superficie de sus generadores, G_a . Es decir:

$$PR = \frac{E_{AC,a}}{\left(\frac{P^*}{G^*}\right) G_a}$$

donde $G^*=1.000 \text{ W/m}^2$ y el subíndice “a” hace referencia a un año, aunque el concepto resulte aplicable a cualquier otro período. En general, el establecimiento de los valores de $E_{AC,a}$ y P^* no resulta problemática. En la mayoría de los casos que conozco, los contratos incluyen las precisiones necesarias para eliminar la incertidumbre, especificando claramente en los contratos si la energía se mide en el contador de baja o de media tensión, y de cual potencia se trata⁵. Ahora bien, lo mismo no ocurre respecto a G_a . Para este valor los contratos suelen limitarse a indicar que se medirá mediante

⁵ En el mundillo conviven varias definiciones: la que figura en el proyecto inicial (producto del número de módulos por la potencia que dice el catálogo que van a tener), la que resulta de los valores dados por el flash del fabricante, la que resulta de corregir alguno de los anteriores por algún factor que considere pérdidas o degradación, e incluso la máxima de salida del inversor. En cierta ocasión, un conocido me dijo que el *PR* de su central era de 0,94. Luego resultó que dividía por los 100 kW de su inversor y no por los 120 kW de su generador.

algún dispositivo debidamente calibrado, ignorando que las diferencias entre los diversos dispositivos que cumplen esa condición son francamente grandes.

Un ejemplo representativo lo proporciona la revista *Photon* que, en su número de febrero de este año, publicó una comparación de sensores de radiación solar, utilizando como referencia un piranómetro de alta precisión⁶. La comparación se establece en términos de la irradiación medida a lo largo de un día. Las diferencias oscilan entre -17% y + 62%. De las 15 células solares incluidas en la comparación, una mide un 2% de más y el resto mide entre un 5,7% y un 17,7% menos. El promedio es de menos 9,8%. Obviamente, estas diferencias afectan directamente al valor del *PR* que pudiera medirse con ellas. Así, de medir el *PR* ese día con esas células podría resultar, por ejemplo, 0,8, mientras que no resultaría más que 0,73 de medirlo con el piranómetro de referencia. Detrás de esta amplia diferencia hay diferencias de respuesta espectral y angular, diferencias en el origen de la calibración y, cuando existen, diferencias en la calidad de los circuitos electrónicos que adaptan la señal. En cualquier caso, pienso que la buena ingeniería pasa por conceder prelación a un tipo de dispositivo y a un origen de calibración. En el IES-UPM abogamos por la utilización de módulos de referencia, iguales a los del generador. Entre otras ventajas, tienen la misma respuesta espectral y angular que la de los generadores en cuestión, y proporcionan relaciones señal/ruido muy elevadas que ahorran el uso de adaptadores de señal. Para su calibración, nuestra referencia es el Ciemat.

Por llamarle pan al pan, pido a quienes especifican o certifican *PR*_s que se pregunten: ¿Cuántos han intentado medir realmente un valor anual de *PR*? Y, a los que lo hayan hecho, ¿cuánta es la incertidumbre que cabe asociar a su resultado? ¿Alguno piensa que tal incertidumbre es inferior, por ejemplo, al 3% que suelen admitir en sus especificaciones?

No veo contradicción en que mi gusto por el *PR*, confesado más atrás, camine de la mano de mi disgusto por su utilización inapropiada; y esto es lo que se hace cuando se pasa de soslayo por las incertidumbres que asocia su medida. Es también lo que se hace cuando se utiliza, sin más, el *PR* como referencia de calidad en los ensayos de recepción de sistemas fotovoltaicos, porque resulta que, por depender de la temperatura de célula, el *PR* dista mucho de ser invariante a lo largo del año. La dependencia es del orden de un 1% por cada dos grados de temperatura. Por ello, en una misma central, el *PR* medido en una semana fría y ventosa puede ser hasta un 15% superior al medido en una semana calurosa y calmada. ¡Así, pasar el CAP⁷ es bastante más fácil en invierno que en verano! Inapropiado es también lo que se hace cuando se establecen referencias de *PR* con independencia de las características particulares de las centrales, ignorando, por ejemplo, que el diseño óptimo de una central con seguidores corresponde a un *PR* más bajo que el de una central con generadores estáticos. Y lo mismo ocurre cuando no se considera la ubicación.

Por estas razones creo que las prácticas de ingeniería, para llamarse buenas, deberían atender más que al *PR* sin más, a algo así como un *PR* modificado, que integre en sus consideraciones, al menos, la temperatura de las células y el posible sombreado. Pero su detalle no cabe en este retrato, que ya va bastante largo. Si diré que el IES-UPM ha intentado contribuir a mejorar el actual estado de cosas, elaborando un texto titulado

⁶ Photon. *Laboratorio. Comparación de sensores de radiación solar*, pg. 143, febrero, 2010.

⁷ CAP: Certificado de Aceptación Provisional.

“Especificación y ensayo de centrales fotovoltaicas”, que distribuyó entre muchos actores del sector. Fue recibido con simpatía, pero las recomendaciones incluidas en él no han sido tenidas en cuenta a la hora de elaborar nuevos contratos. A mi entender, esto es reflejo de que lo financiero suele tener mayor peso que lo técnico en las negociaciones que rodean a esos contratos. Pero, armados con la idea de que Roma no se hizo en un día; seguiremos insistiendo.

Un fleco sobre células calientes

El retrato anterior a éste abordó el asunto de las células calientes, con el doble ánimo de explicar algo de la física del fenómeno y de proponer algunas bases para dar solución a posibles conflictos, entre compradores y vendedores de módulos afectados por este problema. Respecto a la física, ese retrato decía: “las ideas a retener son, primero, que la aparición de células calientes es posible en ausencia de sombras y sin defectos relevantes en las células y, segundo, que la aparición de células calientes está relacionada con la tensión de operación del módulo, de manera que son tanto más probables cuanto menor es esta tensión”⁸. El quid para entender los porqués de estas ideas reside en diferencias en la resistencia paralelo. Decía el retrato: “...resulta que cuando se asocian los módulos en serie esa ligera diferencia de resistencia en paralelo puede traducirse en una diferencia significativamente mayor en las tensiones de operación”. Respecto a la solución de los conflictos, el retrato proponía atender a la diferencia de temperatura entre la célula caliente y el resto de las del módulo, estableciendo un límite máximo entre 12 °C y 20 °C.

Pues bien, un lector me ha comentado que la mayoría de células calientes con las que él se había topado estaban relacionadas con defectos que, observando con atención, resultaban visibles (micro-fisuras, quemaduras en los dedos de metalización, etc.) y que, por tanto, “la célula se calienta por tener un defecto físico y no (en mi opinión) por los argumentos que expones en tu artículo sobre células calientes (dispersión de características entre módulos de un mismo generador)”⁹. Agradezco sinceramente a este lector su observación, porque me ha llevado a pensar que no estuvimos muy acertados en la explicación de ese retrato, y me da la oportunidad de intentar enmendarla aquí. En realidad, no existe dicotomía alguna entre “defecto físico” y “dispersión de características”. De hecho, casi todos los defectos físicos, y en particular los observados por este lector, se traducen en disminución de la resistencia paralelo y, por ende, en incremento de la dispersión de características, de forma que, en rigor, no hay diferencia sustancial entre hablar de defectos físicos y hablar de dispersión de características.

Pero ocurre que, aun así, las consecuencias de la conversación pueden ser diferentes, puesto que la determinación de hasta que punto un defecto físico es, o no, causa de rechazo de módulo no está, en lo que yo sé, clarificada en ningún sitio¹⁰ y, en consecuencia, resulta ambigua. Sin embargo, hablar en términos de diferencia de temperatura entre la célula caliente y el resto permite llegar a conclusiones sin ambigüedad alguna, una vez pactado un valor concreto para el límite máximo. Y de ahí

⁸ E. Lorenzo, F. Martínez, R. Moretón, *Retratos de la conexión fotovoltaica a la red (XIV): El asunto de las células calientes*, ERA SOLAR nº 153, pgs. 8-20, (2009).

⁹ Comunicación personal del lector.

¹⁰ La lista de defectos visuales importantes que incluye la norma IEC 61215, que podría entenderse como fuente de jurisprudencia al respecto, es poco concluyente al respecto.

el enfoque del retrato que, en aras de aportar escenarios de acuerdo para solucionar conflictos, apartó el lenguaje de los defectos físicos, para evitar entrar en el resbaladizo terreno de decidir cuando son y cuando no son relevantes. Comoquiera que hay quien ha llegado a acuerdos en base a las diferencias de temperatura, no hay razones para desdeñarnos de la estrategia del retrato. Pero el lector tiene razón: observando con atención, se llega a encontrar algún defecto físico en la mayoría de las células calientes. Esa es también nuestra experiencia.

Resumen

- La producción de muchas centrales fotovoltaicas españolas a lo largo de 2009 ha sido superior a lo estimado en el momento de su diseño. Sabemos de centrales con generadores estáticos que han llegado a 1.500 kWh/kW y de centrales con seguidores que han llegado a 2.300 kWh/kW.
- En buena medida, esta elevada producción se ha debido a que la radiación solar a lo largo de ese año ha sido significativamente superior a lo indicado en las bases de datos utilizadas en su diseño.
- La medida del *PR*, tal y como se viene haciendo en la mayoría de las centrales, asocia mucha incertidumbre. Es probable que algunas de las cifras elevadas que corren por el mundillo sean más bien fruto de los errores de medida que de ventajas técnicas apreciables.
- Respecto al asunto de las células calientes, no existe dicotomía entre “defecto físico” y “dispersión de características”. Un defecto físico supone una disminución de la resistencia paralelo y, por ende, un aumento de la dispersión de características.