

RETRATOS DE LA CONEXIÓN FOTOVOLTAICA A LA RED (VIII)

“Elogio de la autarquía y estimaciones fotovoltaicas”

Eduardo Lorenzo y Luis Narvarte
Instituto de Energía Solar
Universidad Politécnica de Madrid

“No es aficionado a pescar quien se limita a ver grabados... y lo supera el que por su mano pesca un pececito”

Ramón Aller (“Astronomía a simple vista”)

Introducción

La cita que encabeza este artículo procede de un precioso libro, titulado “*Astronomía a simple vista*”, escrito en 1948 por Ramón Aller, un cura de Lalín (Pontevedra) que años antes había decidido poner manos a la obra en el asunto de la astronomía. Fácil es entender que, aparte de decisión, ingenio y voluntad, contaba con pocos medios. Por no tener, ni siquiera tenía el cielo tan despejado como para poder mirar a las estrellas con frecuencia.

Los poetas han loado los verdes campos de Galicia. Y con razón, porque además de resultar hermosos para la vista, crían grelos para hacer el caldo, y vacas de carne exquisita. Pero estas maravillas –el verde, los grelos y las vacas– lo son por la mucha lluvia, y en la etiqueta de su precio figura que el cielo esté encapotado con frecuencia. Lo que no impidió que Ramón Aller llegara a ser uno de los astrónomos más eminentes de España, y que sus observaciones sobre las estrellas dobles gocen aún hoy de fama internacional.

Este preámbulo, además de para ejercitar la morriña,¹ responde a la intención de parar mientes en la conveniencia de hacer las cosas por uno mismo. ¡Y tanto rollo para esa simpleza! Pues sí, estimado lector, y aún insistiremos un poco más, porque los beneficios que procura tal simpleza son de natural intangibles, por lo que entenderlos y apreciarlos requiere de algún tiempo. A nuestro entender y para lo que aquí interesa, los beneficios de hacer por uno mismo son, al menos, dos: el uno, que se aprende y el otro, que no se depende.

Y todo esto, aunque no lo parezca, viene a cuento de la estimación de la energía que producen los sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica. Las cifras resultantes de esa estimación son claves para analizar la rentabilidad de las posibles inversiones

¹ De “morriña” dice el Diccionario de la Lengua Española que viene del gallego *morrinha* y que es “tristeza o melancolía, especialmente la nostalgia de la tierra natal”. Pero, con el mayor de los respetos, creo que esta definición no es del todo acertada. A lo que en mi pueblo llamamos morriña tiene, efectivamente, relación con la nostalgia pero no con la melancolía. La nostalgia es la impronta que el vivir pasado va dejando en el alma, y no impide disfrutar de las delicias del vivir presente. La melancolía es pena profunda que hace que quien la padece no encuentre gusto ni diversión en nada. La nostalgia es recuerdo sentido. La melancolía es enfermedad. No son ni parecidas.

económicas en este ámbito. De ahí su importancia, de ahí las controversias en torno a su realismo, y de ahí también la conveniencia de especular² sobre los procedimientos de estima, que es la pretensión de este artículo. Al hilo del párrafo inicial, quien decida estimar³ –bien sea por gana o bien por obligación– puede optar por dos caminos: el uno es adquirir algún *software* comercial específico (PVSYS, PVFORM, INSEL, etc.) y el otro, intentar hacerlo por sí mismo.

Hacer para aprender

El primer camino es más rápido; bastan unas pocas horas de entrenamiento en el manejo del programa (que no en el entendimiento cabal del problema) para llegar a jugar con soltura con el menú de alternativas que ofrecen tales herramientas. La recompensa del juego, además de la cifra estimativa deseada, suele incluir muchos adornos en forma de diagramas coloreados que, bajo la capa de proporcionar información al usuario, responden a la doble intención de hacer propaganda del *software* y de epatar a quien lo usa, buscando que en su fuero interno llegue a fijarse la impronta de que el dicho *software* es tan bueno que resulta vano todo intento de estimar sin recurrir a él.

Nadie mejor que Cajal para explicar los peligros de tal impronta. Su discurso de ingreso en la Academia de Ciencias Exactas (en 1897, pocos años antes de que le dieran el premio Nobel) consistió en una serie de consejos y advertencias dirigidas a los jóvenes que quisieran dedicarse a la investigación. Posteriormente, el discurso fue recogido en un libro denominado “*Los tónicos de la voluntad*” cuya lectura es, además de amena, francamente recomendable para todo aquel que se dedique al estudio de cosas que encierren alguna novedad. Y comoquiera que tal es el caso de los sistemas fotovoltaicos, en cuyo mundillo casi todo se pretende innovador, nos parece justificado reproducir aquí los párrafos iniciales de su segundo capítulo, titulado “Preocupaciones enervadoras del principiante”, y que señala en primer lugar a la “Admiración excesiva”. Los párrafos son así:

“Entre las preocupaciones más funestas de la juventud intelectual, contamos la extremada admiración a la obra de los grandes talentos y la convicción de que, dada nuestra cortedad de luces, nada podemos hacer para continuarla o completarla.

Esta devoción excesiva al genio tiene su raíz en un doble sentimiento de justicia y de modestia, harto simpático para ser vituperable, más si se enseñoera demasiado con el ánimo del novicio, aniquila toda iniciativa e incapacita en absoluto para la investigación original. Defecto por defecto, preferible es la arrogancia al apocamiento; la osadía mide sus fuerzas y vence o es vencida, pero la modestia excesiva huye de la batalla y se condena a vergonzosa inacción.

² Dice el diccionario que “especular”, en su acepción principal, es “*registrar, mirar con atención una cosa para reconocerla y examinarla*”. También dice, en su cuarta acepción, que es “*efectuar operaciones comerciales o financieras, con la esperanza de obtener beneficios basados en las variaciones de precio o en los cambios*”. En los últimos años, la afición a la especulación inmobiliaria ha crecido tanto que, en los medios de prensa y televisión, se ha alterado el orden de estas acepciones. Aquí profesamos respeto al diccionario, y especular se entiende en su primera acepción.

³ Un chiste malo, pero fácil: quien decida ser “estimador”, debe procurar que no digan de él que es “timador”.

Cuando se abandona esa atmósfera de prestigio que se respira al leer el libro de un investigador genial, y se acude al laboratorio a confirmar los hechos donde aquél apoya sus fascinadoras concepciones, sucede a veces que nuestro culto por el ídolo disminuye tanto como crece el sentimiento de nuestra propia estima.”⁴

Léase “software” –mejor si es de origen extranjero– donde Cajal escribe “grandes talentos” y se tendrá una descripción correcta de lo que acontece con muchos profesionales fotovoltaicos de hoy. No sólo se sienten epatados por algunos “software” comerciales, sino que además están dispuestos a conceder a sus resultados un valor de realismo del que no tienen evidencia empírica alguna.

Los que piensen que exageramos se sorprenderían de saber que han sido muchos los que, al saber que en el IES-UPM hacemos estimaciones de productividad de plantas fotovoltaicas, han espetado preguntas como “¿Con qué lo hacéis, con el PVSYS o con el TRANSYS?”, y cuando les hemos dicho que con ninguno, que nosotros calculamos con nuestros propios medios, aun han exclamado: “¿Y cómo podéis hacerlo sin ellos?”

Lo cierto es que hacer los propios programas de cálculo obliga a aprender, porque exige refrescar un buen número de conceptos básicos (por ejemplo, qué y cómo son las correlaciones global-difusa, cómo se calcula la irradiancia en cualquier instante de un día a partir del valor de la irradiación diaria, cómo se trata la anisotropía de la radiación difusa, etc.) y exige, además, trabajar con cierto detenimiento, porque de otra forma el programa nunca llega a funcionar. Esto de trabajar con detenimiento está poco de moda. En el mundillo fotovoltaico de hoy campan más a sus anchas la urgencia y el apresuramiento. En cierta medida, ello responde a la juventud de una buena parte de sus ingenieros, consecuencia del fuerte crecimiento que está experimentando el sector en los últimos años. Ambas cosas, juventud y crecimiento, son excelentes activos para el futuro del sector y, por ello, deben ser saludadas con agrado; pero fuerza es reconocer también que ambas son propensas a las prisas, y que las prisas, como bien dice el refrán, son malas consejeras. Quizás resultará extraño para algunos, pero alguien tan brillante intelectualmente como el mismísimo Charles Darwin, llegaba al punto de congratularse con las dificultades que le obligaban a trabajar con detenimiento. En las memorias que dejó para sus hijos dice textualmente:

“Me cuesta igual que siempre expresarme con claridad y de forma concisa; una dificultad que me ha hecho perder mucho tiempo, pero que por otro lado me ha compensado con la ventaja de obligarme a pensar cada frase con mayor detenimiento. En consecuencia, he podido ver los errores de razonamiento y en mis propias observaciones o en las de los demás.”⁵

En cualquier caso, ejercitarnos para aprender fue una de las razones por las que en el IES-UPM optamos, hace ya algunos años, por la vía de hacer los programas de cálculo por nosotros mismos.

Hacer para no depender

⁴ Santiago Ramón y Cajal, “*Los tónicos de la voluntad*”, Colección Austral (Ed. Espasa), 10ª edición, pág. 21, Madrid (1981).

⁵ Charles Darwin, “*Autobiografía*”, Ed. Belacqua, págs. 74-75, Barcelona (2006).

Las dependencias imponen limitaciones a la capacidad real de decisión. Esto se puede explicar de diferentes maneras.

Por ejemplo, al estilo de ejercicio para clase de física o de matemáticas, la explicación sería algo así: sea una habitación cerrada por una puerta cuya única llave tiene “A”. Suponga que se plantea la conveniencia de entrar o no en esa habitación (a curiosear, a leer un incunable o a lo que sea). El ejercicio consiste en analizar los pros y los contras de ambas alternativas. La respuesta correcta es que el ejercicio no tiene sentido, puesto que la apertura de la puerta esta condicionada a que el señor “A”, por conveniencia o por condescendencia, de primero su aprobación.

Otra explicación diferente da ese amigo irreverente del pueblo, cuyas anécdotas ya han servido en otros retratos. Cuando sale a relucir el tema de las dependencias, no deja pasar la ocasión de poner cara de pilluelo, hacer aspavientos y mandar callar a los demás con el argumento de que ¡esta es la mía! Cuando logra concitar la atención del respetable espeta: “*Si hay casados en la reunión, razonar sobre dependencias es arte de perder el tiempo. No hay mejor maestra que la experiencia*”. En una ocasión así, al sentir que el escándalo a floraba en la concurrencia y dirigirle una mirada de notoria desaprobación, él, lejos de arredrarse, hizo bis con los aspavientos y dijo: “*A quien le extrañe el silogismo, que piense en lo malo que es el trabajo que aleja al corazón de lo cotidiano de uno mismo*”. Los argumentos de este amigo pueden parecer de chiste en estos tiempos, imperados por las ideas de que las cosas del trabajo deben mantenerse totalmente aisladas del resto de las cosas de la vida, y restringir sus consideraciones al estricto ámbito de la inmediata productividad. Sin embargo, incluso en el ámbito de la técnica es fácil encontrar ejemplos que demuestran que no siempre ha sido así.

Uno muy antiguo se encuentra en las páginas de un libro sobre minería y metalurgia que no faltaba de la cabecera de ningún ingeniero de los siglos XVI a XVIII (doscientos años de vigencia, ¡ahí es nada!). Titulado “*De re metallica*”, fue escrito en 1556 por un alemán que pasó a la historia con el seudónimo de *Agrícola*, y se convirtió en el texto de mayor trascendencia histórica que haya producido la ingeniería alemana en su conjunto. Pues bien, en las preciosas láminas de dibujos que complementan las descripciones del texto, figuran muchos detalles con los que, bajo la apariencia de gamberradas, *Agrícola* recordaba a los lectores que la vida no es sólo trabajo. La figura 1 presenta una de estas láminas⁶ en la que, además de describir los detalles de un método de lavado de minerales (obsérvese la secuencia de letras a lo largo de los canalones), *Agrícola* dibujó también a una pareja besándose (en la esquina inferior izquierda).

⁶ Georgius *Agrícola*, “*De re metallica*”. Reimpresión de la traducción inglesa de 1912, por la universidad de Standford. Dover Publications, Inc., pág. 343, Nueva York (1950).

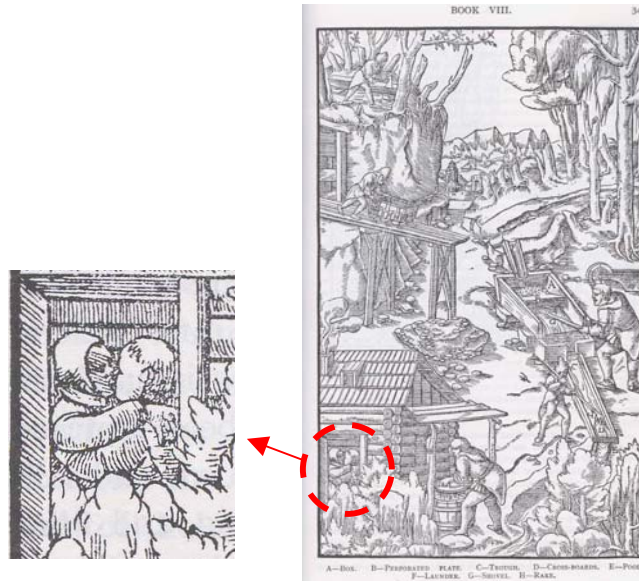


Figura 1. Lámina incluido en “De re metallica”, y ampliación del detalle que contiene en la esquina inferior izquierda, para recordar que la vida no es sólo trabajo.

Más recientemente, Isofotón ha editado un libro conmemorativo de los 25 años de su fundación, que incluye una entrevista con el profesor Luque, quien cuenta como fue el nacimiento de esta empresa, que hoy figura en lugar preeminente de la industria española. Pues bien, quien lo lea podrá aprender que, en gran medida, todo aquello fue bastante ajeno a los criterios de productividad inmediata y rentabilidad económica, siempre presentes en el diccionario básico del lenguaje empresarial. Y que la cosa tuvo más bien que ver con la oportunidad, la fe, el coraje y la pasión, valores que suelen entenderse como más propios de las humanidades que de las ciencias empresariales.

Estos gloriosos antecedentes brindan la ocasión para justificar que los derroteros de este retrato sobre estimaciones fotovoltaicas hayan pasado ya por la casa de un ingeniero alemán del XVI, de un naturalista inglés del XIX, de un biólogo español también del XIX, y del irreverente amigo del pueblo.

Volviendo al tema de la independencia en asuntos profesionales, el buen sentido dirá los límites de lo que es sensato en cada caso. ¿Qué diríamos de alguien que, por no depender, se empeñase en fabricar sus propios destornilladores? Pues que se cerraría más puertas de las que se abriría, con lo que su independencia sería tirar piedras contra su propio tejado, que es deporte dañino para la salud y para la reputación.

Aplicada a la estimación de la productividad de los sistemas fotovoltaicos, esta idea del balance entre puertas que se abren y puertas que se cierran sugiere que el camino de hacerse los programas es ventajoso, porque en el escenario fotovoltaico actual tienen un papel importante tanto las puertas inesperadas (por ejemplo, en forma de innovaciones tecnológicas) como las pistas para elaborar las llaves que las abren (por ejemplo, el caudal de datos empíricos procedente de la operación real de los sistemas, que permite afinar progresivamente los modelos matemáticos). La capacidad para introducir modelos propios o mejorados (de sombras, de radiación, de equipos, etc.) en los procedimientos de cálculo es, a nuestro entender, la única llave maestra con la que ir abriendo todas las puertas del camino, y fue una razón más para que en el IES-UPM

optáramos por la vía de hacer nuestros propios programas de cálculo, en vez de adquirirlos en el mercado.

Como muestra de lo que se puede hacer

Creemos, estimado lector, que debemos hacerte una confesión. Empezamos a pergeñar líneas para este artículo con la idea de que en él cupiera la presentación de las ecuaciones matemáticas que describen el funcionamiento de los distintos tipos de seguidores, como forma de animar a otros a empeñarse en la tarea de desarrollar sus propios programas de cálculo. Pero llegado a este punto, caemos en la cuenta de que el texto va ya por tal longitud que clama a gritos el punto y final. Dejaremos, por ello, las ecuaciones para otra ocasión. Pero como a lo de animar no renunciamos, presentaremos un ejemplo práctico de lo que se puede hacer. Se trata de un caso real planteado al IES-UPM por una empresa española deseosa de saber cuál era su mejor elección (la más rentable) para instalar una planta fotovoltaica en un terreno cuya extensión estaba previamente prefijada. El análisis de este problema, que se plantea en la práctica con alguna frecuencia, pasa por cuantificar la relación entre la energía anual producida y el área ocupada por los diferentes tipos de seguidores que conviven en el mercado. Tal relación depende, entre otras cosas, de cual sea el impacto de las sombras mutuas (de unos seguidores sobre otros) sobre la potencia entregada por los generadores fotovoltaicos que, a su vez, depende de cómo estén ubicados y conexiónados los módulos que los conforman.

La figura 2 muestra el resultado al que pudimos llegar, correspondiente al supuesto de que los módulos estuviesen dispuestos sobre la estructura de soporte en tres filas, tal y como indica la figura 3. Los módulos de cada fila están asociados en serie y las filas están asociadas en paralelo. Esta disposición nos llevó a ajustar en el programa un modelo de impacto de sombras que supone que su mera existencia sobre una fila equivale a anular el componente directo de la irradiancia global (y también el componente circumsolar de la irradiancia difusa). Más detalles concretos (lugar, características de módulos, inversores y transformadores, etc.) no pueden ser desvelados aquí, por respetar el pacto de confidencialidad que siempre debe regular las relaciones de los organismos públicos y las empresas. En el eje X figura la ocupación de terreno, en términos de la relación entre el área de terreno ocupado y el área de los generadores fotovoltaicos propiamente dichos, $1/GCR$. En el eje Y figura la productividad anual correspondiente, en términos de kWh por cada kW de potencia nominal de generador. A golpe de vista, se observa que cuando el espacio es escaso ($1/GCR < 2,5$) lo mejor es utilizar generadores estáticos; cuando hay algo más ($2,5 < 1/GCR < 4$), cabe pensar en seguidores de eje horizontal, y cuando hay franca holgura ($1/GCR > 4$) también van bien los seguidores de eje vertical o de dos ejes. Al lector que quisiera mirar un poco más de cerca debe advertirse de que el origen del eje Y no es cero. En otras palabras, las diferencias entre la productividad de los distintos casos son, en realidad, menores de la impresión que transmite la figura.

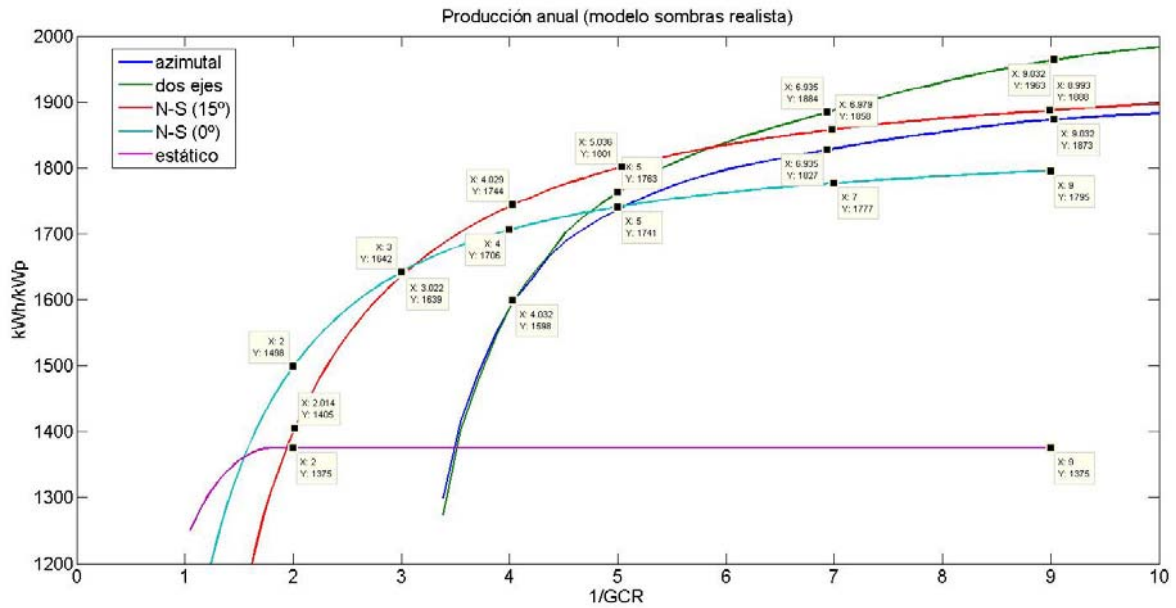


Figura 2. Productividad anual de una central fotovoltaica conectada a la red, en función de la ocupación de terreno y del tipo de seguimiento.

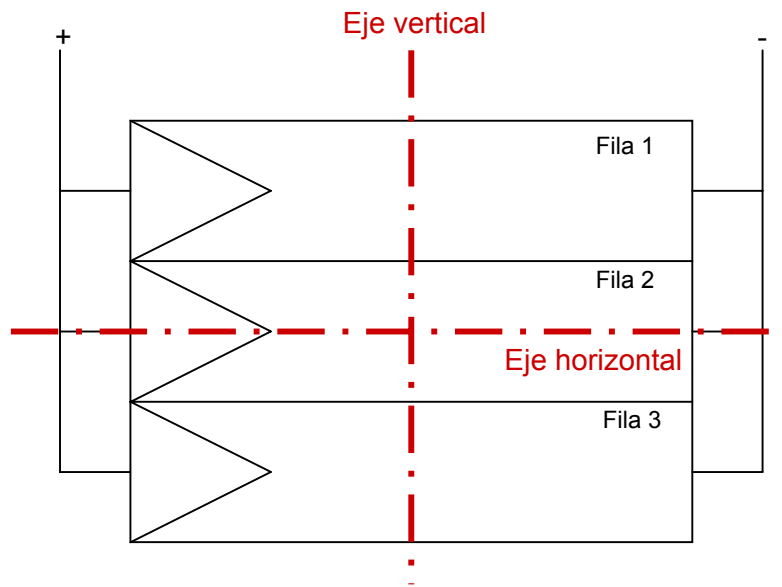


Figura 3. Disposición de los módulos fotovoltaicos sobre la estructura de soporte para la central de la figura anterior. Cada fila está constituida por la asociación en serie de un cierto número de módulos.

Para mayor abundancia en la cuestión del impacto de las sombras, la figura 4 muestra los resultados para un mismo tipo de seguimiento, en este caso, en dos ejes, y para los siguientes casos:

- Que los módulos del seguidor estén asociados de tal forma que la existencia de una sombra sobre un módulo equivalga a anular los componentes directo y

circunsolar de la irradiancia incidente únicamente sobre ese módulo (esto es, en alguna medida, lo que ocurre cuando existe un inversor para cada serie).

- b) Que los módulos del seguidor estén asociados en tres series, tal y como ha sido descrito para la figura anterior.
- c) Que el seguidor esté dotado de la capacidad de retro-seguimiento (“backtracking”), de tal forma que cuando el seguimiento ideal –perpendicular al Sol– se traduzca en la aparición de sombras, opte por desviarse de él, modificando bien sea el azimut o la inclinación (en cada momento, la alternativa que entregue mayor potencia).

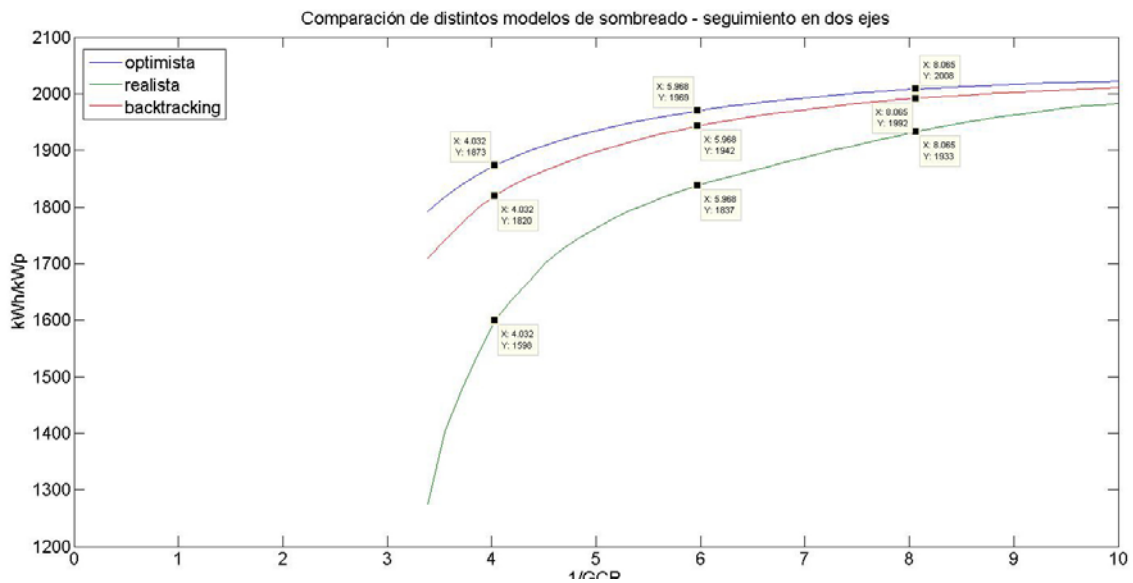


Figura 4. Productividad anual de una central fotovoltaica con seguimiento en dos ejes y conectada a la red, en función de la ocupación de terreno y de la asociación de los módulos en cada seguidor.

Epílogo

En ningún momento este artículo ha pretendido tratar sobre seguidores fotovoltaicos y, por ello, no ha entrado a discutir toda la riqueza de matices que encierran las figuras anteriores. Como las ecuaciones, queda para mejor ocasión. La intención del artículo ha sido abogar por la vía de los desarrollos propios, en vez de por la compra de *software* comercial “ad-hoc”, para abordar la estimación de la productividad energética de los sistemas fotovoltaicos.

La estrategia abogadil comenzó recordando las virtudes del propio hacer, como medio de aprender y de no depender. Ahora cierra dejando caer la sospecha de que ejercicios de cálculo como el presentado aquí tienen, si es que la tienen, muy difícil solución en el ámbito del *software* comercial y, sin embargo, forman parte de la realidad fotovoltaica actual. La sospecha pretende inculcar la idea de la superioridad de la vía propia, incluso en términos de la capacidad de cálculo. Y si nos atrevemos a manifestar aquí esta sospecha, es por pensar que ha sido una razón poderosa para que no sólo el IES-UPM

sino también otros institutos, por ejemplo, el tan renombrado Fraunhofer-ISE alemán, se hayan apuntado a la vía del desarrollo propio.

Somos conscientes de que abogar aquí por esta vía tiene algún ribete de predicación en el desierto. Abundan los jefes que no confían en la utilidad de las reflexiones y trabajos teóricos de sus empleados –quizás porque en el fondo tampoco confían en la utilidad de las suyas– y, en consecuencia, se muestran poco proclives a apostar por lo que se propugna aquí. La idea de que alguno de sus subordinados emplee un par de meses en el desarrollo de un programa de cálculo fotovoltaico les parece contraria a toda lógica. Su argumento es que algo similar se puede comprar, con lo que se termina antes y sale más barato. Pero aunque nuestros argumentos aquí (formación, independencia y potencia de cálculo) fuesen convincentes, nos tememos que ninguno de tales jefes leerá estos artículos. Están siempre demasiado ocupados.

Y, entonces, ¿para qué lo hemos escrito? Pues porque nos ha parecido interesante que se sepa que el buen cálculo fotovoltaico está al alcance de quien se ponga con ahínco a ello. ¡Claro que hay que estar dispuesto a estudiar y a pasar por unos cuantos sinsabores antes de llegar al final! Pero de hecho no conocemos a nadie de los que han optado por explorar esta vía que se arrepienta de su decisión. En España sabemos, al menos, de otro instituto público y de tres o cuatro empresas relevantes. En el caso concreto del IES-UPM, incluso en plan negocio, no nos ha ido nada mal. Hemos recibido (y seguimos recibiendo) encargos para estimar la productividad de un buen número de plantas fotovoltaicas, y para optimizar el diseño de algunos seguidores. Y atendiéndolos, hemos cobrado un dinerillo, hemos aprendido mucho, nos hemos sentido útiles para los demás y hemos contribuido un poquito a que las cosas de aquí compitan de tú a tú con las de cualquier otro lugar. Esto último no es que importe por la competencia en sí misma. Al fin y al cabo, la única competencia que de verdad importa es la que se tiene con uno mismo. Lo dijo muy bien Machado: “*Yo vivo en paz con los hombres /y en guerra con mis entrañas*”. Es más bien una cuestión de mantener la compostura. Por estética y también por dignidad.

Acabamos expresando nuestras más sinceras gracias a todos los que han confiado en nosotros para esos trabajos.