



APLICACIONES INDUSTRIALES

Sistemas fotovoltaicos con limitaciones de terreno: la doble orientación como alternativa

Photovoltaic systems with land constraints: the two-sided orientation as an alternative

Lenyer Padrón Suárez¹; Luis Gutiérrez Urdaneta^{1,*}; Valladares Aguilera J.²

¹ Empresa de Fuentes Renovables de Energía, La Habana, Cuba.

² Empresa de Ingeniería y Proyectos de la Electricidad, La Habana, Cuba.

* Autor de correspondencia: urdaneta@emfre.une.cu

Recibido: 4 de abril de 2021

Aprobado: 1 de julio de 2021

Licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional 

RESUMEN/ ABSTRACT

En el hemisferio Norte, los sistemas fotovoltaicos de ángulo fijo, como regla, se orientan al Sur para la maximización de la energía por unidad de potencia. Recientemente se han instalado varios parques en terrenos y techos con la doble orientación Este-Oeste. Con ello se obtienen varias ventajas: más energía y potencia por unidad de superficie, reducción de sombreado entre paneles, mayor generación en horas tempranas y tardías del día y durante el verano, menor vulnerabilidad al viento y mejores resultados económicos, entre otras. Se realizan la simulación con los datos meteorológicos de un sitio en Cuba, comparan los resultados con aquellos obtenidos de simulaciones con sistemas de ángulo fijo, diferentes ángulos de inclinación, distancia entre inicios de filas, concluyendo que los sistemas de doble orientación incrementan la generación anual en la misma superficie, así como una “suavización” de la curva de generación durante el día.

Palabras clave: ángulo fijo, limitación de superficie, orientación Este-Oeste.

In the Northern Hemisphere, fixed tilt systems, as a rule of thumb, face south for energy maximization per power unit. In relatively recent times, some solar parks have been mounted with two-sided orientation East-West in grounds and roofs. Several advantages are obtained: more energy and power per area unit, reduction of shading between panels, greater generation in early and late hours of the day and during the summer, less vulnerability to wind of the structures and better economic results, among others. The authors carry out the simulation with the meteorological data of a site in Cuba. They compared the results with those obtained from simulations with fixed tilt systems and different tilt angles and distance between the beginning of rows, and conclude that with the two-side systems, an increase in annual generation is obtained in the same area, as well as a "smoothing" of the generation curve during the day.

Keywords: fixed tilt, land constrain, East-West orientation.

INTRODUCCIÓN

En un trabajo anterior de los autores se afirmaba que: “La tierra es un recurso no renovable, limitado y escaso. En el caso de Cuba, un pequeño archipiélago, la superficie disponible para ser utilizada en la construcción de parques fotovoltaicos, los suelos menos productivos, debe competir con otros usos alternativos. Estas áreas, además, se encuentran fragmentadas” [1].

Uno de los reportes pioneros en la literatura académica, y posiblemente el más citado, sobre el efecto de la orientación de los módulos en el balance de la red eléctrica es el de Pecan Street Research Institute.

Cómo citar este artículo:

Lenyer Padrón Suárez y otros .Sistemas fotovoltaicos con limitaciones de terreno: la doble orientación como alternativa 2021, vol. 42, n. 3,septiembre/diciembre. ISSN:1815-5901.

Sitio de la revista: <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE>

En dicho reporte se mencionaba que la orientación de paneles hacia el oeste en los techos de ciertas residencias individuales en Austin podría ser beneficioso para compensar la demanda pico [2], de la Universidad de Texas, en concluyó que durante las horas pico de demanda de verano, los paneles en techos de residencias muestreadas, también en Austin, orientados al Oeste, generaban entre 33% y 35% más de energía que aquellos orientados al Sur.

Dorshenko M. [3], generó simulaciones de sitios de Ontario, British Columbia, y Texas, sin considerar aumento de potencia, y concluyó que los módulos con orientación Este generaban más durante las primeras horas y menos más tarde que aquellos orientados al Sur, por lo cual se realizaba un mejor ajuste entre la generación y la carga eléctrica a través de la reducción de potencial generación no utilizada en la red (*curtailment*). Estos estudios anteriores, no obstante, advierten de las complicaciones intrínsecas del ajuste generación-carga, sobre todo, por las variaciones impredecibles de la radiación solar.

Fedorov A., en “Photovoltaic System Design for a Contaminated Area in Falun – Comparison of South and East-West Layout” [4], evalúan en un terreno de 66 000 m², en la localidad de Falun, Suecia, dos alternativas: SAF y SEO. A pesar de que considera que, debido al ángulo de inclinación de 10°, el 40% del tiempo el SEO no generará por la acumulación de nieve en la estación invernal, ambos sistemas muestran similares valores de Costo Nivelado de Energía (*LCOE*), y el SEO generaría 4,86 veces más energía que el SAF en la misma superficie. Sugiere una combinación de ambos sistemas para evaluar.

Guilhem Tyssandier, el director del proyecto del parque fotovoltaico de Cestas (figura 2), revela tres de las ventajas de SEO y la razón de la selección de esa tecnología: mayor resistencia a los vientos (figura 5), mayor densidad de paneles por hectárea y una “suavización” de la curva de generación diaria [5].

Sin embargo, en la literatura y proyectos revisados no se han hallado referencias con relación a plantas fotovoltaicas de doble orientación (SDO) con otros acimuts diferentes a 90°/-90° (orientación Este-Oeste). En el presente trabajo también se realizarán simulaciones con sistemas de orientación Norte-Sur (SNS) y con 45°/-45° de acimut (S45). Se realizaron otras con diferentes acimuts y los resultados no difieren con respecto a las realizadas con SEO, SNS y S45.

Aunque la mayoría de los módulos en las plantas fotovoltaicas han sido instalados orientados al Sur, desde principios de pasada década, muchos de los paneles en techos y terrenos han comenzado también a instalarse con doble orientación Este-Oeste (figuras 1, 2 y 3).

En las ciudades alemanas de Hölzengraben y Pfenning Logistics, se han construido parques fotovoltaicos con potencias superiores a los 5 MWp, encontrándose en funcionamiento desde los años 2013 y 2014 respectivamente [6,7]. Desde octubre de 2015 se construyó en Francia el que fuera el parque fotovoltaico más grande de Europa en ese entonces. La instalación posee una configuración de instalación este-oeste con una potencia 300 MWp y una generación energética anual de 350 GWh [5].

En Holanda, en Delfzijl y Texel Island se instalaron entre los años 2016 y 2017 varios parques fotovoltaicos con orientación este-oeste en configuración de cúpulas. En dos de los casos, las plantas de Eversteekoog Reservoir y De Krim Resort, ambas de Texel Island consisten en sistemas flotantes sobre embalses [8-10]. El parque fotovoltaico Yongala en Australia también posee una configuración de cúpulas con orientación este-oeste para optimizar el aprovechamiento del terreno. Este parque posee una potencia de 2,66 MWp y se encuentra en explotación desde el pasado 2019 [11].

En los Emiratos Árabes Unidos comenzó en 2020 la construcción del parque solar más grande del mundo, de 1.177 MWp, también con doble orientación [12]. En 2021 debe comenzar, con orientación Este-Oeste, el mayor parque solar del Reino Unido, de 350 MWp y acumulación con baterías [13].

Para la construcción de parques con orientación Este-Oeste se mencionan tres razones fundamentales:

- Como solución a la escasez de tierra, como es evidente en Holanda y los Emiratos Árabes Unidos.
- Reducción total de los costos de inversión por unidad de potencia instalada, pues varios gastos son relativamente fijos por unidad de superficie, así como aquellos relacionados con la operación. Tal parece ser la razón de los megaproyectos emprendidos con esta tecnología.
- Como el patrón de generación difiere con relación al SAF, puede compensar parcialmente los déficits en periodos del año y en determinadas horas. Con acumulación puede reducir o evitar las pérdidas ocasionales de generación (*curtailments*).



Fig. 1. Vista parcial del parque sobre techo la Pfenning Logistics [3].



Fig. 2. Vista parcial de la planta Cestas [4].



Fig. 3. Vista de la planta Yongala [10].°

La orientación de los módulos al Sur maximiza, en los sistemas de ángulo fijo (SAF), la generación por unidad de potencia. Pero una de las razones para la instalación de sistemas con orientación Este-Oeste (SEO) ha sido la obtención de mayor generación por unidad de superficie.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los autores han revisado la literatura sobre los sistemas de orientación Este-Oeste. Utilizaron las bases de datos meteorológicos del Centro de Física de la Atmósfera de un sitio específico, realizaron simulaciones mediante el software PVsyst v 6.8.1 y elaboraron la evaluación energética. Compararon, además, los resultados de la simulación del SEO con dos simulaciones del mismo sitio con SAF, una con el enfoque tradicional (hora solar 8:00 y ángulo de 15° , y otra con el enfoque de maximización de la generación por unidad de superficie (hora solar 10:00 AM y ángulo $11,7^{\circ}$).

Bases de datos meteorológicas del Centro de Física de la Atmósfera

Se seleccionó un sitio imaginario en la provincia de Sancti Spíritus, totalmente llano, en una latitud media de Cuba para desarrollar las simulaciones y realizar la evaluación energética de los SAF (enfoque tradicional y enfoque que maximiza la generación por unidad de superficie) y del SEO.

Los datos mensuales promedio de radiación global horizontal y temperatura en el día, según la latitud y longitud del sitio, se obtuvieron del libro en Excel “Interp” (tabla 1), uno de los resultados del proyecto “Determinación de la distribución de radiación solar sobre el territorio nacional partiendo de la información que brinda la red heliográfica”, del Centro de Física de la Atmósfera, del Instituto de Meteorología.

Tabla 1. Radiación y temperatura en sitio de Sancti Spíritus. Latitud 21.57, Longitud -79.21 [14]												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Radiación diaria global horizontal kWh/m ² día	4,20	5,02	5,66	6,53	6,28	6,37	6,61	6,43	5,76	5,01	4,28	3,83
Temperatura en horas del día °C	27,6	28,2	29,0	30,3	31,1	31,6	32,4	32,3	31,5	30,8	29,5	28,8

Diseño del experimento

El objetivo es evaluar la factibilidad energética de los sistemas de doble orientación (SEO, SNS y S45) *versus* SAF. Para los SAF se tomaron como referencias:

- Variante I: El enfoque tradicional: módulos orientados al Sur, hora solar de diseño 8:00 AM, ángulo de inclinación 15° y pasillo entre filas 2,01 m (figura 6).
- Variante II: El enfoque que maximiza la generación por área: módulos orientados al Sur, hora solar de diseño 10:00 AM, ángulo de inclinación 11,7° y pasillo entre filas 0,92 m (figura 4).

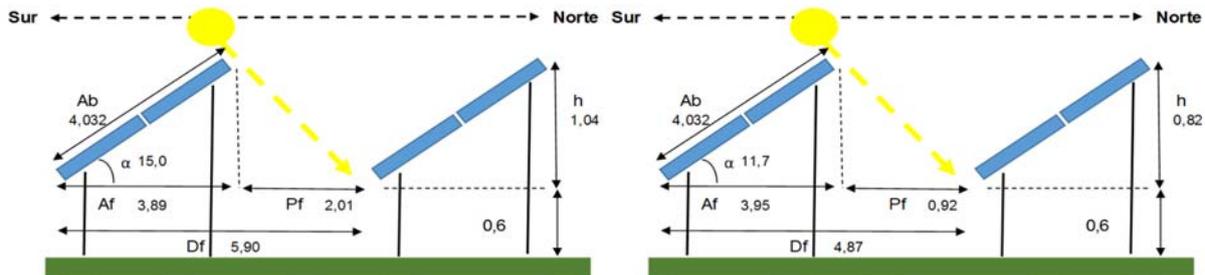


Fig. 4. Esquemas de los SAF.

Para el SEO (variante III) se proyectará un pasillo entre cúpulas de 0,92 m, suficiente para las labores de operación y mantenimiento y un ángulo de inclinación de 10°, el usual para esta tecnología (figura 5). No obstante, en el parque de Cleve Hill se utiliza un ángulo de 8° [13].

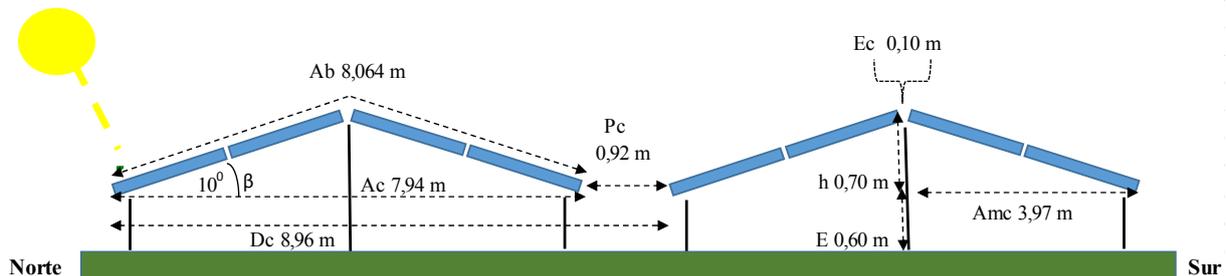


Fig. 5. Esquema del SEO

Selección del sitio, forma y tamaño del área

Se seleccionó un sitio imaginario en la provincia de Sancti Spíritus, totalmente llano, en una latitud media de Cuba. Las dimensiones del área son 140 metros de largo en el eje Norte Sur y 137 metros en el eje Este-Oeste (casi un cuadrado). Ningún otro arreglo de filas o columnas puede implicar que estas distancias se sobrepasen. El área bruta es de 1,918 hectáreas. Se debe optimizar el uso del área bruta.

Las simulaciones mediante PVsyst

Nótese que el ancho del pasillo entre filas o cúpulas (figura 7), es mayor que 0,9 m y podría ser suficiente en la mayoría de los parques para las labores de operación y mantenimiento. Los sistemas de limpieza de módulos manual, semi-automático, automático o de rociado (*spray*) requieren pasillos mínimos. Se tomó esta dimensión para el desarrollo del trabajo, pero es una de las dimensiones que debe ser definida *ex ante* para el diseño de los parques (tabla 2).

Tabla 2. Datos para simulaciones.					
Sistema (ver figuras 4 y 5)	Unidad medida	SAF		SDO*	
Variante		I	II	III (E-O)	IV (N-S)
Hora solar de diseño (Solsticio de invierno)	-	8:00	10:00	-	-
Inclinación (α para SAF – β para SDO)	°	15,0	11,7	10,0	10,0
Elevación del módulo	m	0,6	0,6	0,6	0,6
Potencia	kW	2.495	2.911	3.119	3.119
# paneles	-	6.480	7.560	8.100	8.100
# módulos en retrato por fila -SAF o cúpula -SDO**	-	2	2	4	4
Espacio entre cada media cúpula (Ec)	m	-	-	0,10	0,10
Largo panel	m	1,996	1,996	1,996	1,996
Bordes (largo)	m	0,02	0,02	0,02	0,02
Ancho del panel	m	0,991	0,991	0,991	0,991
Bordes (ancho)	m	0,02	0,02	0,02	0,02
Ancho banda receptora (Ab) por fila -SAF o cúpula – SDO	m	4,032	4,032	8,064	8,064
Distancia e/ inicios filas -SAF o de cúpulas -SDO	m	5,90	4,87	8,96	8,96
Ancho de la fila -SAF o de la cúpula -SDO	m	3,89	3,95	8,04	8,04
Pasillo entre filas –SAF (Pf) o cúpulas - SDO (Pc)***	m	2,01	0,92	0,92	0,92
Número de filas (n) -SAF	-	24	28	-	-
Número de cúpulas -SDO	-	-	-	15	15
Número de columnas - SAF y IV	-	135	135	-	135
Número de filas – III	-	-	-	135	-
Largo N-S****	m	139,6	135,4	136,5	133,5
Largo E-O****	m	136,5	136,5	133,5	136,5
Área bruta (terreno)	ha	1,932			
Área neta de paneles y espacios entre filas y cúpulas	ha	1,905	1,849	1,822	1,822
Holgura de área	m ²	127	696	962	962
Índice de ocupación del terreno (GCR)	%	68,3%	82,8%	90,0%	90,0%

*Para las simulaciones de la variante V (S45) se utilizarán los mismos datos que para SEO y SNS.
 **También las medias cúpulas se forman con 5 o 6 paneles en “paisaje”. Ello permitiría instalar más paneles por área.
 ***Se ha asumido que Pc = Pf, pero Pf podría ser menor.
 ****Para SN45°, el largo N-S es la longitud de la cúpula y el largo E-O es la dimensión del otro lado del rectángulo. El SN45° es sólo con el objetivo de evaluar, si el terreno estuviera con ese acimut, su factibilidad energética. Es sólo un giro en el acimut.

El ahorro de espacio

El diseño Este-Oeste parte de las siguientes consideraciones:

- Prácticamente no es necesario pasillo entre cúpulas (Pc) para evitar el sombreado entre paneles, excepto para labores de operación y mantenimiento.

Con la inclinación de 10° de los paneles y a la latitud máxima de Cuba 23.3°, ya a las 7:06 AM en el solsticio de invierno no hay sombreado entre los paneles. A esa hora y latitud, la elevación del sol (S) es 4,75° y la corrección del acimut (A) -61,93°.

El ancho de media cúpula (Amc) se calcula como (figura 7): vea ecuación (1).

$$A_{mc} = A_b \cdot \cos \alpha = A_b \cdot \cos 10^\circ \approx 0,985 \cdot A_b \quad (\text{metros}) \quad (1)$$

El pasillo mínimo entre cúpulas para evitar el sombreado se determina: vea ecuación (2).

$$P_c = \frac{A_b \cdot \operatorname{seno} \alpha}{\tan S} \cdot \cos(\operatorname{ABS}(A)) = \frac{A_b \cdot \operatorname{seno} 10^\circ}{\tan 4,75^\circ} \cdot \cos(\operatorname{ABS}(-61,93^\circ)) \approx 0,985 \cdot A_b \quad (\text{metros}) \quad (2)$$

Entonces, $A_{mc} > P_c$ desde de la hora solar 7:06 AM hasta las 4:53 PM.

- Menor distancia Este-Oeste para un mismo número de módulos. Las cúpulas en los SNS se arman comúnmente con 4 paneles, 2 al Norte y 2 al Sur. Las filas de los SAF se componen de 2 paneles inclinados al Sur. No obstante, pueden existir otros arreglos.

Para una misma cantidad de paneles a lo largo del eje Este-Oeste en el SEO y a lo largo del eje Norte Sur en los SAF, en número de filas en los SAF debe ser igual al doble del número de cúpulas. Si se considera que el pasillo en ambos sistemas es igual ($P_f = P_c$), el cálculo puede ser realizado por las ecuaciones (3) y (4), en dependencia de la configuración:

$$LNS = Ab \cdot n \cdot \cos(\alpha) + P_f \cdot (n - 1) \quad (3)$$

$$LEO = Ab \cdot n \cdot \cos(\beta) + 0,5 \cdot P_f \cdot (n - 2) \quad (4)$$

donde,

LNS: Longitud Norte-Sur del SAF

LEO: Longitud Este-Oeste del CEO

Siendo $\alpha = 10^\circ$ y 15° y $\beta = 10^\circ$, entonces: vea ecuaciones (5 y 6).

$$\text{Para } \alpha = 10^\circ, LNS > LEO \quad \text{si } \frac{P_f}{Ab} > 0 \quad (5)$$

$$\text{Para } \alpha = 15^\circ, LNS > LEO \quad \text{si } \frac{P_f}{Ab} > 0,038 \quad (6)$$

Virtualmente, la distancia Este-Oeste en SEO siempre sería inferior a la Norte-Sur en SAF. Estas conclusiones son válidas para el resto de los SDO.

Quedaría por comprobar si las pérdidas de eficiencia energética en los SDO pueden ser recompensadas por mayor potencia y generación en la misma superficie.

Parámetros tecnológicos del sistema a simular

Para las simulaciones se utilizó el *software* PVsyst V6.8.1. Para conformar las filas en los SAF y las cúpulas en los SDO se usaron 2 módulos de 385 Watts monofaciales de Longi Solar, acoplados en forma de “retrato”. Los inversores son de SMA, Sunny Tripower 25000TL-30. En todas las variantes la razón de potencia de los módulos con relación a la de los inversores será 1,11. Se utilizó la opción “según cadenas de módulos” en las simulaciones para una determinación más realista de las pérdidas eléctricas por sombreado. Así, cuando una cadena de módulos sufre de sombreado, la misma es considerada eléctricamente improductiva. La fracción para el efecto eléctrico es 100%.

A los efectos de la construcción perspectiva sólo se consideran los módulos (figuras 6 y 7).

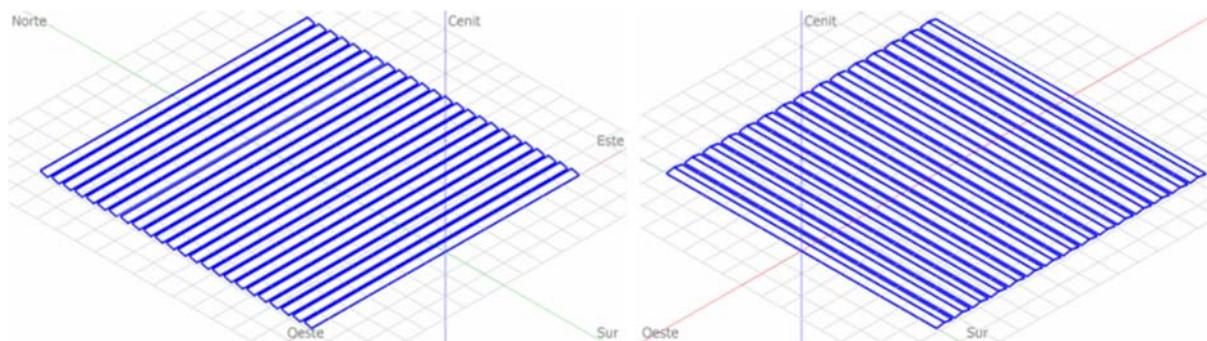


Fig. 6. Construcción perspectiva (izquierda SAF y derecha SEO).

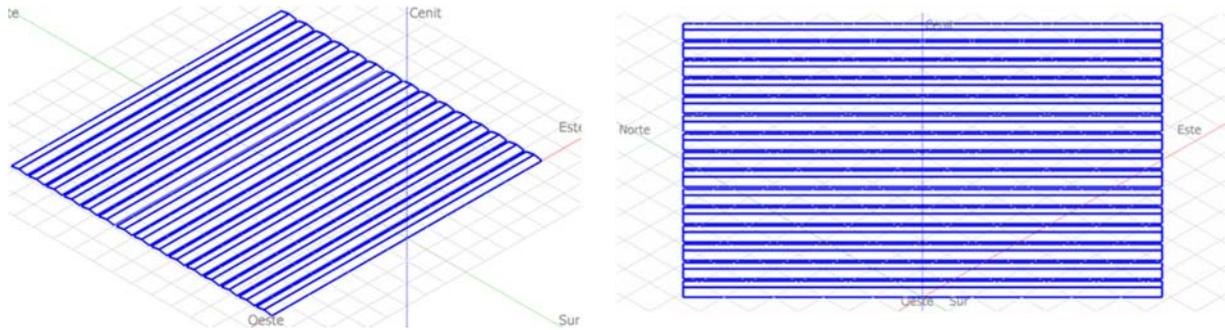


Fig. 7. Construcción perspectiva (izquierda SNS y derecha S45).

Se asumieron las siguientes pérdidas porcentuales para todas las variantes.

- Suciedad del conjunto: 3%
- Pérdida óhmica en el cableado: 1,5% en STC
- Degradación inducida de la luz: 1,5%
- Pérdida de calidad del módulo: -0,5%
- Pérdida por desajuste de módulos; 1,0%
- Pérdida por desajuste de cadenas: 0,1%
- Modificador del ángulo de incidencia: el propio del módulo utilizado

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de las simulaciones

Con la doble orientación, con respecto a las variantes I y II, en la misma área, aumentan la generación, la potencia instalada y el ahorro de combustibles fósiles. Las pérdidas por sombreado se reducen a 0,3%-0,35%. Es notable el aumento de energía de los SDO *versus* el enfoque tradicional y de más de 4,0% frente a la variante II (figuras 8 y 9).

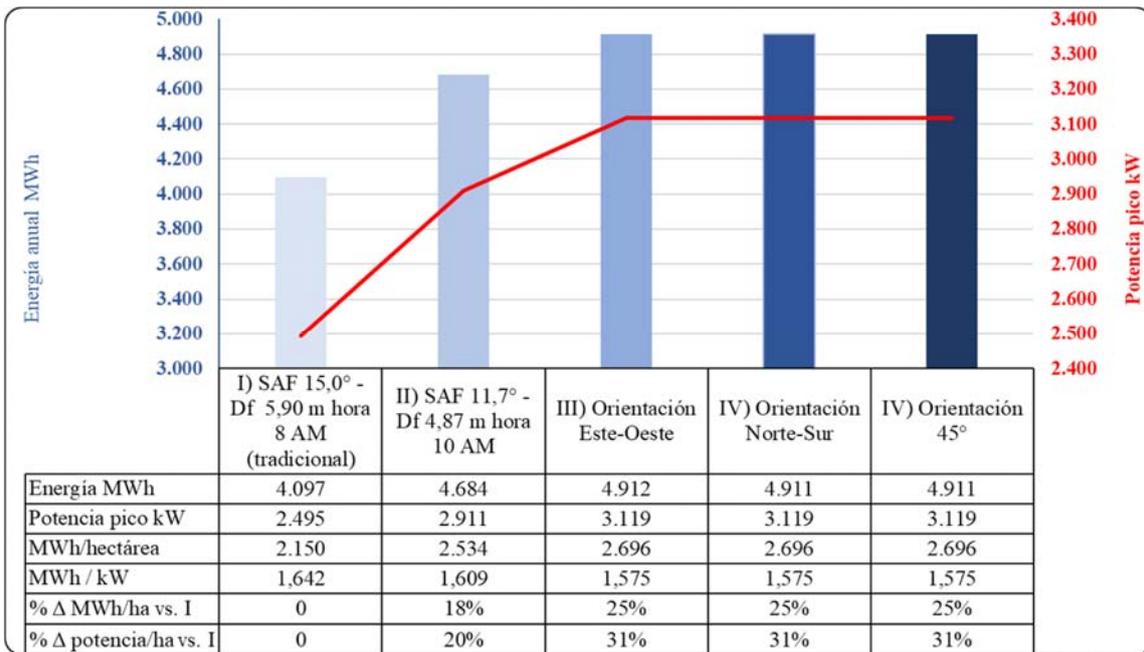


Fig. 8. Energía, potencia pico y generación por hectárea neta y kW pico anuales

La generación horaria

En el solsticio de invierno, el peor escenario para los SAF, con la doble orientación se obtiene un ligero aumento absoluto de la generación en las primeras horas y algo más significativo en las últimas horas del día con respecto a las variantes I y II. Sólo en las horas 10, 11 y 12, la energía de la variante II es ligeramente superior o igual a las correspondientes de los SDO.

En todas las horas, la generación de las variantes III, IV y V es superior a la de la variante del enfoque tradicional (figura 9).

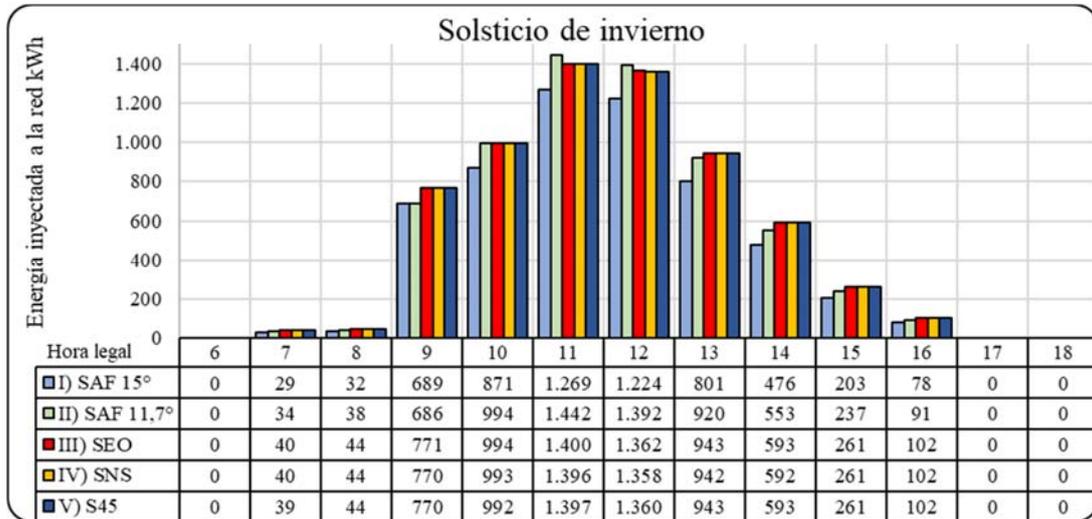


Fig. 9. Generación horaria en solsticio de invierno.

En el solsticio de verano, los paneles con doble orientación generan siempre más que aquellos orientados al Sur (figura 10).

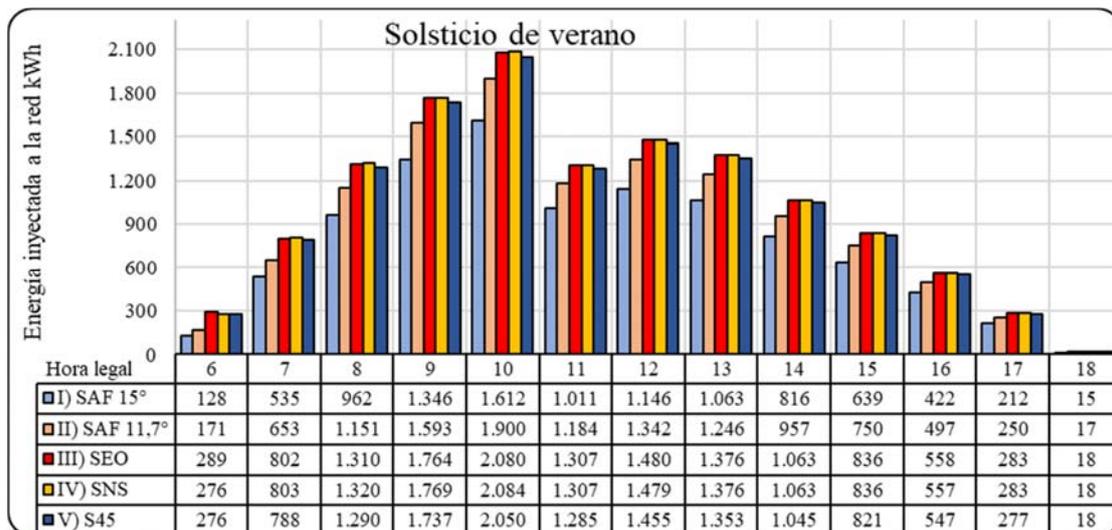


Fig. 10. Generación horaria en solsticio de verano.

En los equinoccios de primavera e invierno, los SDO generan también más en todas las horas (figura 11).

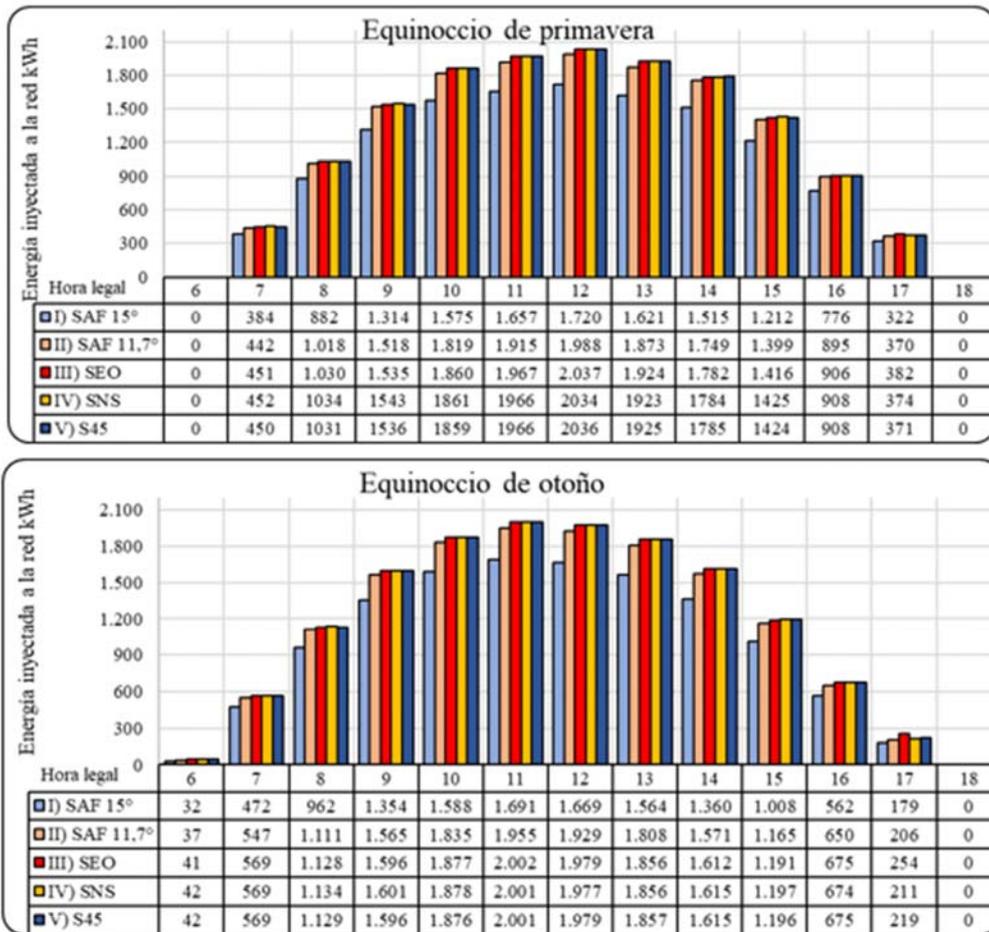


Fig. 11. Generación horaria en los equinoccios.

La generación mensual

Con los SDO la generación es superior a la que se obtendría con aplicación del enfoque tradicional (variante I) en todos los meses, llegando a un 27% o más de mayo a agosto. Con respecto a la variante II, la generación con los SDO es superior desde marzo hasta octubre, entre 3% y 13%. Dentro de este último periodo también ocurren los mayores consumos diarios. En el resto de los meses hay poca diferencia (figura 12). Las curvas de tendencia explican bien estos resultados (prácticamente superponen las de SEO, SNS y S45). En la tabla 3, se muestra un resumen de varios rasgos y resultados de las variantes.

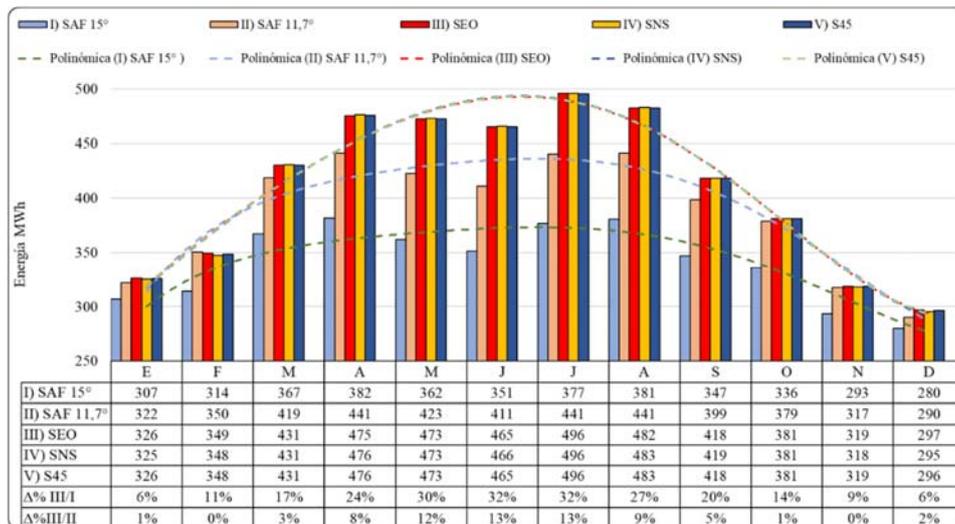


Fig. 12. Generación mensual

Tabla 3. Resumen de varios rasgos y resultados de las variantes.

Conceptos	I) SAF	II) SAF	III) SEO	IV) SNS	V) S45°
Generación anual por área neta (paneles y espacios)	La menor	+18% vs. I)	+25% vs. I) y +6% vs. II)		
Potencia por área neta (paneles y espacios)	-	+20% vs. I)	+31% vs. I) y +9% vs. II)		
Generación horaria en solsticio de invierno	-	Más que I) en todas las horas excepto entre 9:00 AM y 10:00 AM	Más que I) en todas las horas. Más que II) en las horas legales de 7 a 9 AM y de 1 a 4 PM. Igual o casi igual de 10 AM a 12 M.		
Generación horaria en solsticio de verano	-	Más que I) en todas las horas	Más que II) en todas las horas.		
Generación horaria en equinoccios	-	Más que I) en todas las horas	Más que II) en todas las horas.		
Generación mensual	-	Más que I en todos los meses.	Más que I) en todos los meses. Más que II) de marzo a octubre. Poca diferencia con respecto a II) de noviembre a febrero.		
Flexibilidad espacial	-	-	Muy flexible. Puede adaptarse más fácilmente a terrenos de diferentes formas.		
Vulnerabilidad ante fuertes vientos	La mayor	Menor que I) debido al ángulo	Menor que II) debido al ángulo y a la doble orientación.		

CONCLUSIONES

Para las condiciones de Cuba, con restricciones de tierra, deben ser evaluados los sistemas con doble orientación (Este-Oeste, Norte-Sur o con otros acimuts) para incrementar la generación fotovoltaica por unidad de superficie. Para techos, en los que las limitaciones de área son más evidentes y, generalmente, son menores los montos de inversión, los SDO son una opción atractiva. Como beneficio colateral, tanto para su instalación en terrenos como en techos, este sistema debe mitigar el efecto de los fuertes vientos y huracanes, y aligerar las estructuras de soporte.

Por el clima y las condiciones ambientales de Cuba, de acuerdo a la literatura revisada, no parece que un ángulo de inclinación de 10° tenga una importancia significativa en la acumulación de suciedad. No obstante, se necesitan estudios a nivel de localidad y por periodos del año. Asimismo, como resultado de estos estudios se podrían recomendar los métodos y frecuencia de la limpieza de los paneles en dependencia de los sitios específicos, así como identificar los costos correspondientes. La dimensión del pasillo mínimo entre filas debe ser suficiente para las labores de operación y mantenimiento, pero también depende del método de limpieza que se adopte.

Si bien en los SDO los gastos en equipamiento tecnológico por MWh generado son mayores que en los SAF, otros gastos de inversión que son relativamente fijos para una misma superficie (costo o renta de la tierra, desbroce, movimiento de tierra, cercado perimetral, cableado, ciertos gastos previos, entre otros, así como los gastos de operación) deben reducirse por MWh. De otra parte, para SDO las estructuras de soporte son más ligeras.

Un balance de generación-demanda, incluso a nivel local, es un paso previo para evaluar la factibilidad de esta tecnología ante otras. La superioridad de una tecnología específica depende, fundamentalmente, de las condiciones particulares de cada sitio: no hay soluciones universales. Ello requiere que *ex ante* se analicen, considerando los objetivos, diferentes variantes tecnológicas y evaluaciones económicas en cada proyecto. Diversas tecnologías pueden coexistir en la estrategia de desarrollo de las fuentes de energía fotovoltaica.

REFERENCIAS

- [1] L. G. Urdaneta, L. P. Suárez, y J. V. Aguilera, "Una revisión de la distancia entre filas de los parques fotovoltaicos con limitaciones de terreno", IE, vol. 42, n. 2, jun. 2021. [consultado el 12 noviembre del 2020]. Disponible en: <https://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/618>
- [2] Patrick J. Kiger. "Are Those Solar Panels Facing the Wrong Direction?". *Environment*, nov. 20, 2013. [consultado el 12 noviembre del 2020]. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/are-those-solar-panels-facing-the-wrong-direction>

- [3] M. Doroshenko. "Quantifying the Effects of Solar Panel Orientation on the Electrical Grid", nov. 2016. [consultado el 12 noviembre del 2020]. Disponible en: <https://uwspace.uwaterloo.ca/handle/10012/11066>.
- [4] A. Fedorov. "Photovoltaic System Design for a Contaminated Area in Falun – Comparison of South and East- West Layout". *undefined*, 2015. Disponible en: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A853199&dsid=1552>
- [5] Tom Kenning. "Europe's largest solar park: Squeezing out maximum energy from the minimum land space". *PV Tech*, sep. 29, 2015. [consultado el 12 noviembre del 2020]. Disponible en: https://www.pv-tech.org/europes_largest_solar_park_squeezing_out_maximum_energy_from_the_minimum_la/
- [6] Bva-admin. "IBC Solar: East-west solar park for own consumption in Germany". *Sun & Wind Energy*, sep. 12, 2013. [consultado el 12 noviembre del 2020]. Disponible en: <https://www.sunwindenergy.com/news/ibc-solar-east-west-solar-park-own-consumption-germany>
- [7] "8.1 megawatt: Europe's largest solar roof goes into operation", *Logistikdienstleister für Transport & Kontraktlogistik*, ago. 14, 2013. [consultado el 12 noviembre del 2020]. Disponible en: <https://www.pfenning-logistics.com/en/8-1-megawatts-europes-largest-solar-roof-system-goes-into-operation-near-mannheim/>
- [8] "Netherlands largest solar park in the industrial area of Groningen Sea Ports – innovative installation with east-west orientation - pv Europe", mar. 08, 2016. [consultado el 12 noviembre del 2020]. Disponible en: <https://www.pveurope.eu/installation/netherlands-largest-solar-park-industrial-area-groningen-sea-ports-innovative>
- [9] "300th solar power plant with new system design commissioned - pv Europe", abr. 12, 2017. <https://www.pveurope.eu/solar-generator/300th-solar-power-plant-new-system-design-commissioned>
- [10] "First floating PV system", *Zonnepanelen Texel4trading*. <https://www.texel4trading.nl/en-us/case-studies/first-floating-pv-system> (accedido may 24, 2021).
- [11] "Yongala Solar Farm", *Renewable Age Pty Ltd*. <http://www.renewableage.com/projects/yongala-solar-farm/>
- [12] Kuhn F. "Developments and lessons learned of Utility scale PV plants in the Middle East, including storage", The Fitchner Group. Engineering & Consulting – worldwide, Dubai, 2017. [consultado el 12 noviembre del 2020]. Disponible en https://www.ibesalliance.org/fileadmin/content/download/presentation/2017/JF4S_Intersolar_Middle_East.
- [13] Armstrong A., Smart S. y Kettridge N., "Cleve Hill Solar Park Microclimate & Vegetation Desk-Based Study", Lancaster University, 2018. [consultado el 12 noviembre del 2020]. Disponible en <https://infrastructure.planninginspectorate.gov.uk/>

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Lenyer Padrón Suárez: <https://orcid.org/0000-0001-5127-3971>

Conformación de la idea de la Investigación. Recopilación de los datos necesario, simulaciones, diseños y redacción del artículo. Participación de los análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final.

Luis Gutiérrez Urdaneta: <https://orcid.org/0000-0003-3069-0535>

Conformación de la idea de la Investigación. Recopilación de los datos necesarios, simulaciones, diseños y redacción del artículo. Participación de los análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final

Javier Valladares Aguilera: <https://orcid.org/0000-0003-3103-883X>

Conformación de la idea de la Investigación. Recopilación de los datos necesarios, simulaciones, diseños y redacción del artículo. Participación de los análisis de los resultados, redacción del borrador del artículo, revisión crítica de su contenido y aprobación final.