

Software ORUGA® MÓDULO de PERFORMANCE Comparativa con el Software de Referencia del Mercado

23 Junio 2023

0. RESUMEN EJECUTIVO

Se ha realizado una comparativa entre el software ORUGA® – Módulo de Performance – y el Software de Referencia del Mercado (SRM) para Bancos, Asesores Técnicos e Ingenierías de la Industria Fotovoltaica. El software ORUGA® ha sido certificado por un Asesor Técnico.

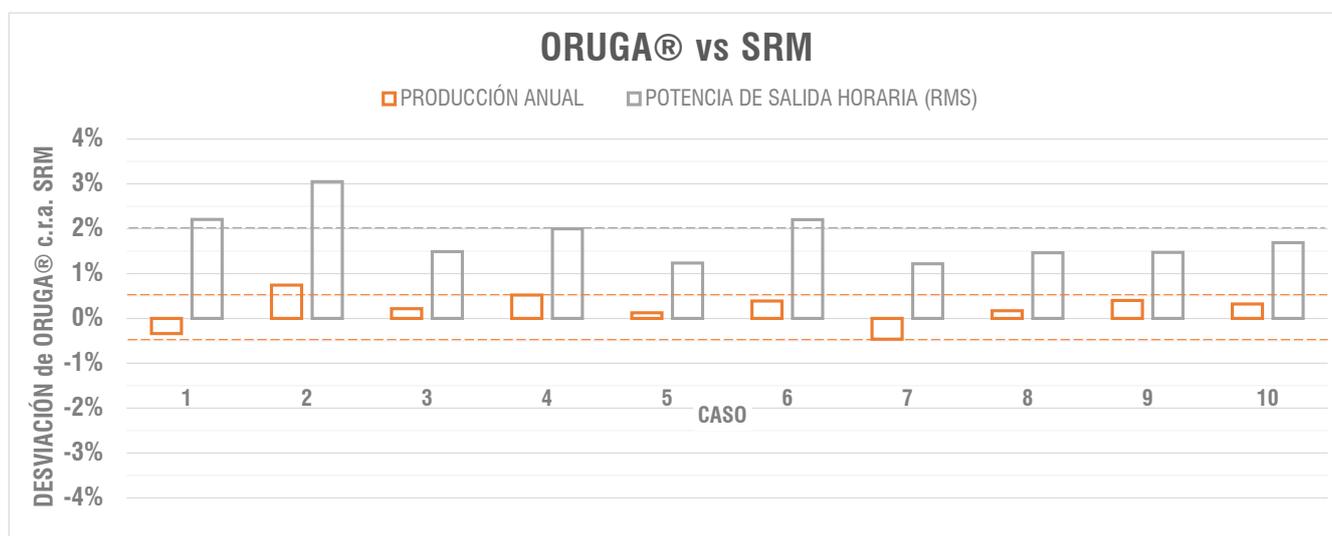
Esta comparativa es completamente abierta y bancable, en el sentido de que todas las ejecuciones de ORUGA® y del SRM presentadas aquí se pueden replicar en cualquier versión del software ORUGA®, lanzado comercialmente en 2023.

Los diferentes casos analizados (10) combinan una variedad de escenarios: terreno 3D/plano, *trackers*/estructura fija, módulo monofacial/bifacial, célula entera/partida y diferentes tipologías de *strings*.

De la comparativa entre ambos programas se deriva que **ORUGA® replica al SRM en el cálculo de la potencia eléctrica de salida de la planta en cualquier situación y con una variación mínima**. Considerando todos los casos, **la diferencia en el valor de producción anual es del $\pm 0.5\%$** , mientras que **la diferencia en el valor de potencia de salida hora a hora es un 2% (valor RMS)**, una cifra notablemente baja.

Demostrada esta réplica de resultados entre ambos programas, la ventaja del software ORUGA® sobre el SRM reside en el hecho de que ORUGA® se puede usar para cualquier tamaño de planta, en cualquier terreno y para cualquier modelo de tracker del mercado, mientras que el SRM limita los resultados precisos en terrenos 3D a plantas <1 MWp y modelos de tracker convencionales (de eje recto).

CASO #	Potencia DC (MWp)	TERRENO	CURVAS I-V aplicadas	TRACKERS (T) o ESTRUCTURA FIJA (EF)	MÓDULO: Monofacial (M) Bifacial (B)	CÉLULA: Entera (E) Partida (P)	STRINGS	Diferencia en Energía inyectada en Red	
								ANUAL	HORARIA (RMS)
1	1	3D	En ORUGA® y SRM	T	M	E	1V	-0.3%	2.2%
2				T	M	E	3H	0.7%	3.0%
3				T	M	P	1V	0.2%	1.5%
4				T	M	P	3H	0.5%	2.0%
5				T	B	P	1V	0.1%	1.2%
6				T	B	P	3H	0.4%	2.2%
7				EF	M	P	2V	-0.5%	1.2%
8	50	PLANO	Sólo en ORUGA®	T	M	P	1V	0.2%	1.5%
9				T	B	P	1V	0.4%	1.5%
10				EF	M	P	2V	0.3%	1.7%



1. INTRODUCCIÓN

En este artículo se presenta una comparativa entre el software ORUGA® – Módulo de Performance – y el Software de Referencia del Mercado (en adelante, SRM) para Bancos, Asesores Técnicos e Ingenierías de la Industria Fotovoltaica. Esta comparativa se centra en el cálculo de la producción eléctrica anual y horaria en plantas PV.

El SRM – extremadamente preciso y detallado en terrenos planos – tiene una limitación importante (publicada en su página web): “la opción *Module Layout* – en la cual se consideran las curvas I-V de los módulos – sólo se puede usar en plantas del orden de unos pocos MWp como mucho”. “SRM fija un límite razonable de alrededor de 1 MWp y un límite superior de 5 MWp”.

Lo anterior se debe al tiempo de computación, que sería prohibitivo para el SRM en tal caso. Sin embargo, en terrenos complicados, donde abundan las sombras entre *trackers*, esta opción es la única alternativa válida para calcular con precisión la producción de la planta. No hacer esto equivale a asumir un riesgo importante en el cálculo de producción de la planta, ya que **la bajada en producción eléctrica anual al pasar de un terreno plano a un terreno complicado varía entre el 0 y el 10% típicamente**. El valor concreto depende de la complejidad del terreno en cada caso.

El software ORUGA®, desarrollado íntegramente por Sener y certificado por un Asesor Técnico¹, supera esta limitación del SRM, posibilitando así el cálculo preciso de la producción eléctrica de cualquier planta PV en cualquier tipo de terreno y para cualquier modelo de tracker o estructura fija del mercado².

A continuación se muestra un resumen de las características diferenciadoras de ORUGA®:

CARACTERÍSTICA	Comentarios
Cálculo de plantas > 1 MWp considerando terreno 3D	El SRM no puede considerar las curvas I-V de los módulos cuando las plantas son mayores de 1 MWp
Modelización de cualquier <i>tracker</i> del mercado en cualquier terreno 3D	ORUGA® puede simular los modelos de tracker de IDEEMATEC, Nexttracker XTR y ARRAY OmniTrack además de los diseños “estándar” de eje recto. Estructuras fijas también
Algoritmo de <i>Backtracking</i> 3D	ORUGA® puede calcular la producción de la planta aplicando el algoritmo de <i>Backtracking</i> 3D desarrollado por Sener ³
Fácil determinación de la influencia del terreno en la producción de la planta	Se reduce así la incertidumbre asociada al cálculo de la producción eléctrica en el Modelo de Negocio
Cálculos rápidos y precisos en terrenos 3D	El cálculo de una planta de 100 MWp en un terreno 3D considerando las curvas I-V de los módulos lleva unos minutos
Hasta 1 minuto de paso horario	El SRM sólo calcula en pasos horarios de 1 hora

Tabla 1: ORUGA®. Características diferenciadoras

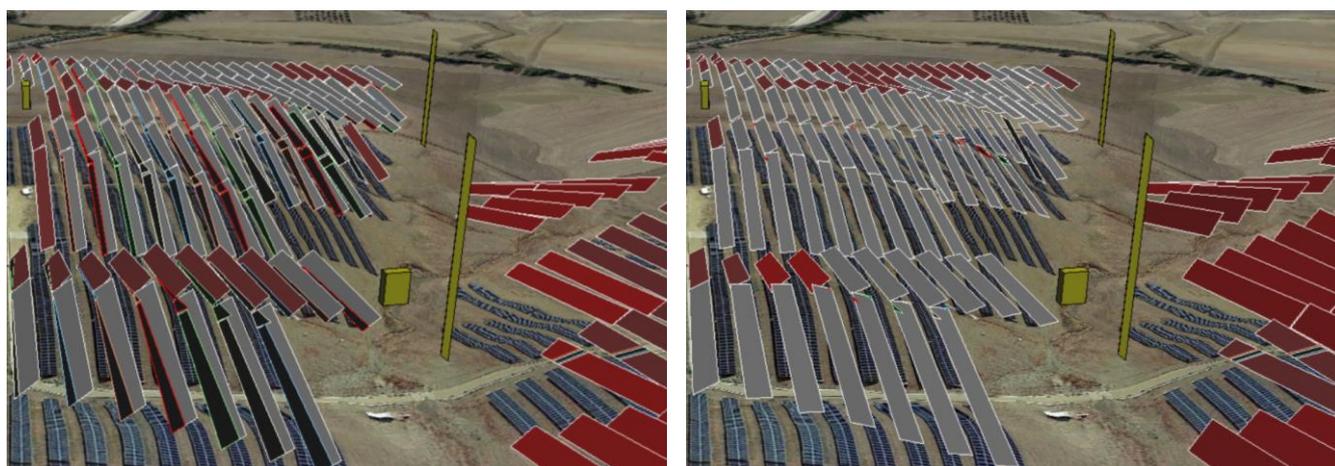


Fig. 1: Planta en operación. Izqda.: Algoritmo de *Backtracking* 2D estándar. Dcha.: Algoritmo de *Backtracking* 3D de Sener. Se observa la eliminación de las sombras entre filas conseguida por el BT3D

¹ El Certificado está disponible para todos aquellos potenciales Clientes de Sener interesados en ORUGA®

² Para más información, léase el artículo *Software ORUGA® - MÓDULO de PERFORMANCE*, 25 Noviembre 2022, disponible [aquí](#)

³ La versión de ORUGA® interna de Sener puede calcular además la producción de la planta para cualquier algoritmo de *Backtracking* del mercado usando como dato de entrada al software el ángulo de *tilt* de cada *tracker* del campo en cada instante de tiempo

2. COMPARATIVA: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha pretendido hacer una comparativa detallada del software ORUGA® con respecto al SRM. A tal fin, se han definido los casos de la siguiente Tabla 2, en la que se incluye también la desviación entre ambos programas, tanto en el **valor anual de Producción Eléctrica** como en el **valor horario de Potencia Eléctrica de salida**⁴.

Como se puede apreciar en la tabla, hay **dos subgrupos** en la comparativa: los casos **1 a 7**, con potencia de **1 MWp**, y los casos **8 a 10**, de **50 MWp**.

Es en los casos 1 a 7 donde se puede realizar una comparativa plena de ORUGA® frente al SRM en un terreno 3D (donde abundan las sombras entre trackers) ya que el SRM sólo puede aplicar el cálculo de las curvas I-V de los módulos si la planta no supera esta potencia (1 MWp). Esta es también la razón por la que se ha considerado un terreno plano en los casos 8 a 10 (50 MWp); de otra manera, no serían comparables los resultados entre ORUGA® y el SRM.

Otros datos sobre los casos analizados:

- Casos 1 a 7:
 - Sevilla, España
 - Coordenadas: 37.55° N, 5.32° O, 162 m s.n.m.
 - GHI: 1 795 kWh/m²/a
- Casos 8 y 9:
 - Chile
 - Coordenadas: 18.65° S, 70.23° O, 635 m s.n.m.
 - GHI: 2 439 kWh/m²/a
- Caso 10:
 - México
 - Coordenadas: 22.90° N, 102.69° O, 2 140 m s.n.m.
 - GHI: 2 071 kWh/m²/a
- Todos los casos:
 - *Backtracking* 2D estándar (BT2D): todos los trackers se mueven con el mismo ángulo.

NOTA: este BT2D en los casos 8 a 10 (terreno plano) elimina las sombras entre trackers, mientras que en los casos 1 a 7 (terreno 3D) es inevitable la aparición de las mismas

CASO #	Potencia DC (MWp)	TERRENO	CURVAS I-V aplicadas	TRACKERS (T) o ESTRUCTURA FIJA (EF)	MÓDULO: Monofacial (M) Bifacial (B)	CÉLULA: Entera (E) Partida (P)	STRINGS	Diferencia en Energía inyectada en Red	
								ANUAL	HORARIA (RMS)
1	1	3D	En ORUGA® y SRM	T	M	E	1V	-0.3%	2.2%
2				T	M	E	3H	0.7%	3.0%
3				T	M	P	1V	0.2%	1.5%
4				T	M	P	3H	0.5%	2.0%
5				T	B	P	1V	0.1%	1.2%
6				T	B	P	3H	0.4%	2.2%
7				EF	M	P	2V	-0.5%	1.2%
8	50	PLANO	Sólo en ORUGA®	T	M	P	1V	0.2%	1.5%
9				T	B	P	1V	0.4%	1.5%
10				EF	M	P	2V	0.3%	1.7%

Tabla 2: Comparativa ORUGA® vs SRM. Casos y Resultados

NOTA: todos los casos de la tabla anterior, incluyendo las ejecuciones correspondientes del SRM, se pueden replicar en cualquier versión del software ORUGA®. Los ficheros necesarios para estas ejecuciones vienen incluidos en el software, que se lanzó comercialmente en Junio de 2023.

Atendiendo a los resultados finales (Tabla 2), se observa que...

- **La diferencia en Producción Eléctrica Anual entre ORUGA® y el SRM está en una horquilla de ±0.5%**
- **El RMS de la diferencia horaria en Potencia Eléctrica de salida entre ORUGA® y el SRM es aproximadamente un 2%**

Los gráficos a continuación muestran el ajuste de resultados entre ORUGA® y el SRM para todos los casos de la Tabla 2. Cada gráfica contiene todos los valores horarios de la simulación anual.

⁴ Para el cálculo del valor RMS de la diferencia horaria entre ORUGA® y el SRM se consideran sólo los instantes del año donde *Potencia > 10%·Potencia nominal*. En el Caso 1, esto supone considerar 3 669 valores, el 84% de todas las horas diurnas en el año

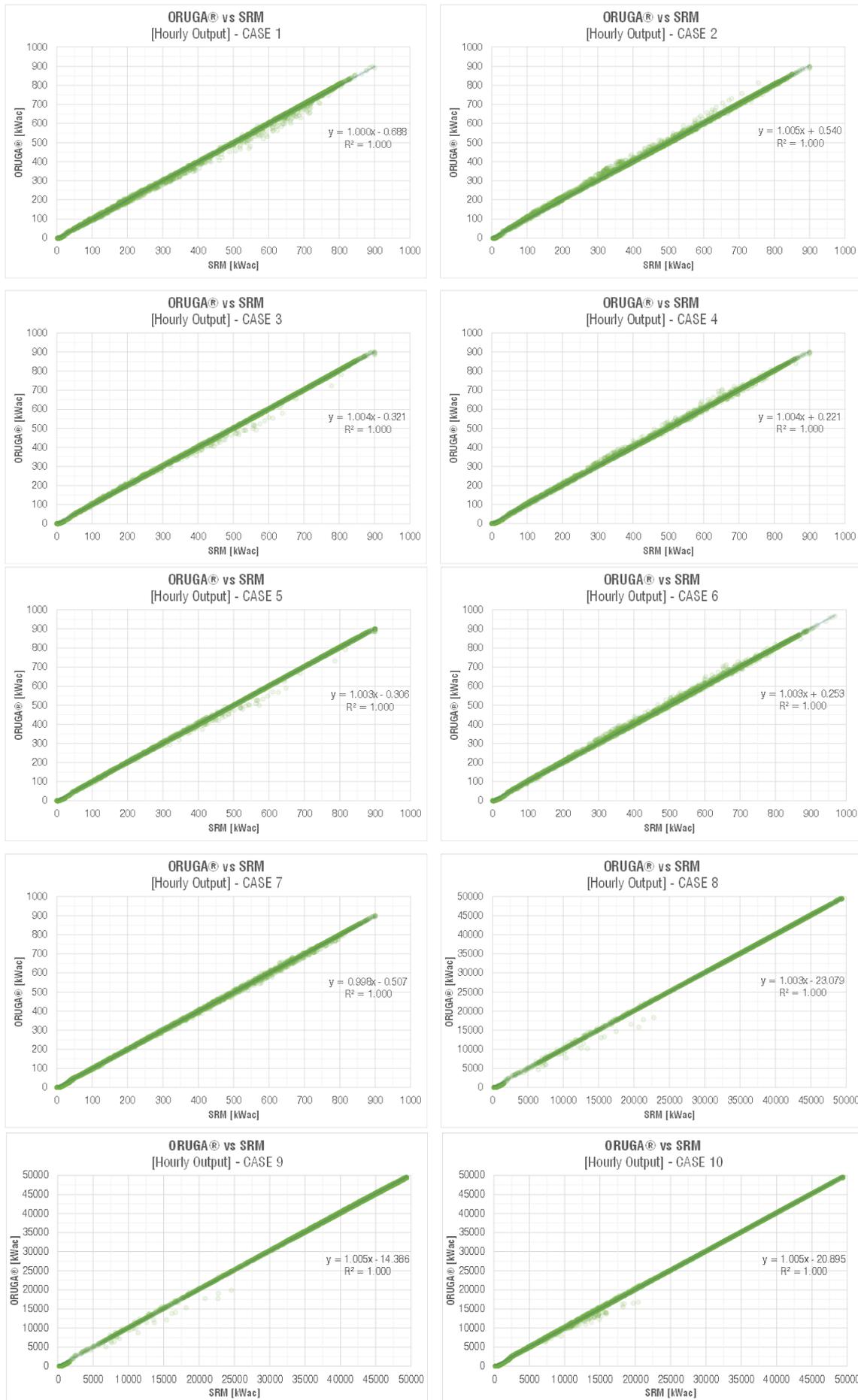


Fig. 2: Comparativa ORUGA® vs SRM. Casos 1 a 10

Por otro lado, aquí se muestra la comparativa de detalle entre ambos programas, graficando la potencia horaria de salida para varios días repartidos en el año (Caso 1, 1 MWp, curvas I-V consideradas):

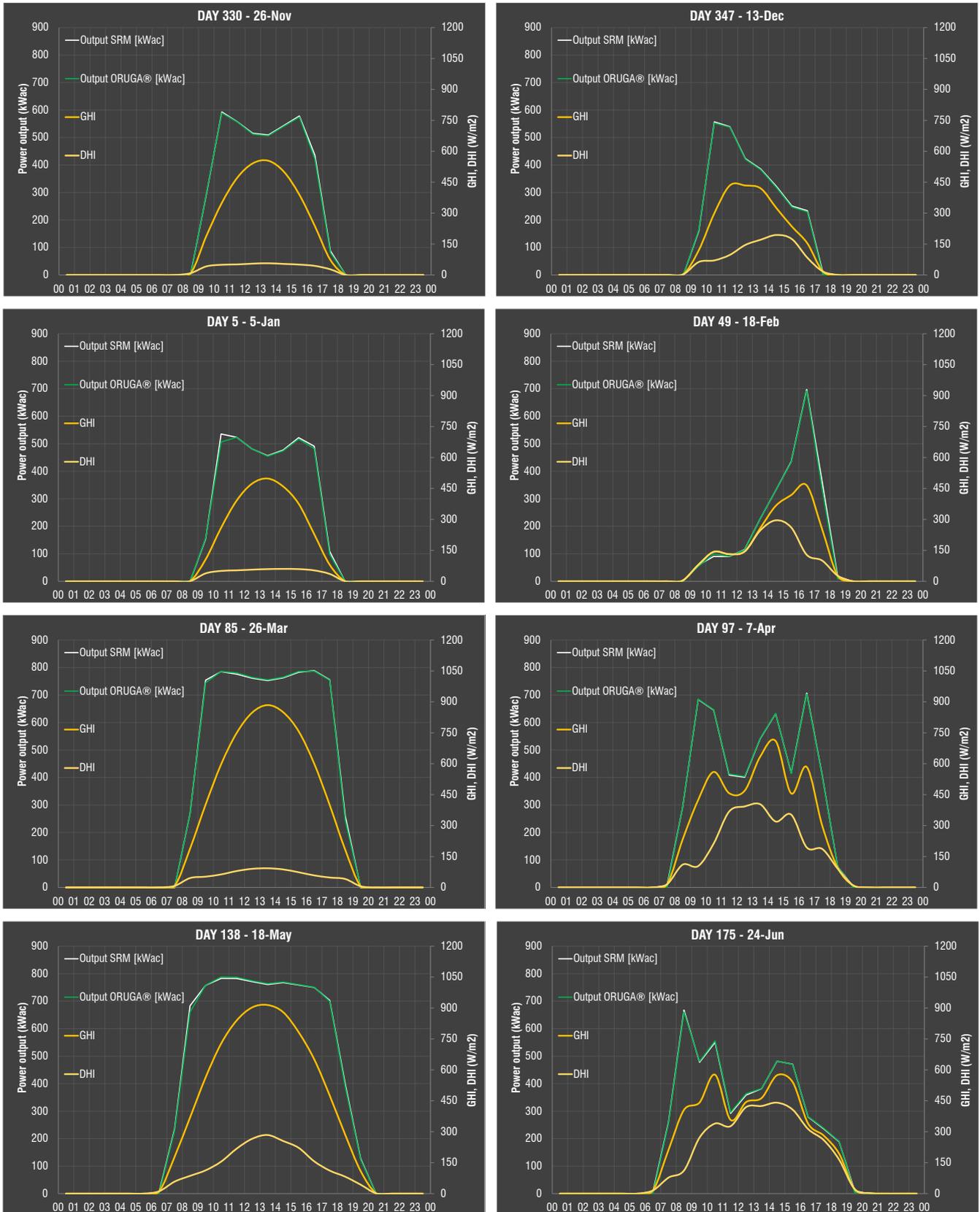


Fig. 3: Comparativa ORUGA® vs SRM. Caso 1 (1 MWp)

Se puede observar tanto en la Fig. 3 como en la Fig. 2 que el ajuste entre ambos programas hora a hora es muy apurado. De aquí resultan los valores de desviación RMS tan bajos (2%) indicados en la Tabla 2.

¿A QUÉ SE DEBEN LAS DESVIACIONES ENTRE ORUGA® Y EL SRM?

- Diferente metodología en cada programa para calcular las sombras eléctricas.
ORUGA® utiliza técnicas de trazo de rayos optimizadas y probadas durante los últimos 20 años en plantas termosolares en operación para calcular las sombras geométricas, llegando con gran detalle a saber qué parte de cada célula de la planta está sombreada y qué parte no. A partir de aquí, se calculan las sombras eléctricas mediante algoritmos avanzados
- La degradación en el SRM es constante en toda la simulación mientras que, en ORUGA®, se calcula la degradación para cada paso de cálculo (1 hora, 1 minuto...)
Es decir, ORUGA® considera que la degradación al inicio del período de simulación es menor que al final del mismo
- ORUGA® no considera la radiación circunsolar cuando no hay DNI (componente directa de la radiación) y el SRM sí
- Diferente metodología en cada programa para calcular las pérdidas óhmicas en DC
- ORUGA® siempre calcula la reflexión de la radiación en el suelo hacia la parte delantera de los módulos usando la misma metodología para módulos monofaciales y bifaciales, mientras que el SRM no usa el mismo método en ambos casos

INFLUENCIA DEL TERRENO EN LA PRODUCCIÓN DE LA PLANTA. MEJORA POR BACKTRACKING 3D

Como dato adicional, se ha calculado con ORUGA® la producción de la planta para los casos A, B y C:

NOTA: la comparativa mostrada en la Tabla 2 contiene escenarios B (Casos 1 a 7) y A (Casos 8 a 10)

SITUACIÓN	A	B	C
TERRENO	PLANO	3D	3D
BACKTRACKING	2D	2D	3D
CASO #	VARIACIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL con respecto al CASO PLANO (A)		
1	0%	-3.8%	-1.1%
2		-2.9%	-1.3%
3		-4.2%	-0.8%
4		-2.8%	-1.3%
5		-4.0%	-0.8%
6		-2.7%	-1.2%
7		1.5%	-
8		-	-
9		-	-
10		-	-

Tabla 3: ORUGA®. Influencia del terreno en la producción de la planta

Se observa que...

- El terreno influye significativamente en la producción de la planta, reduciendo esta por la aparición de sombras entre trackers. La magnitud de la desviación dependerá de la complejidad del terreno y de las características de la instalación
- En el caso 7, de estructura fija, se observa una mejora de producción respecto al caso plano ya que el terreno está inclinado hacia el sur y esto reduce las sombras entre módulos
- Los casos 8 a 10 se excluyen de la comparativa, puesto que son sobre superficie plana
- El Algoritmo de Backtracking 3D de Sener aumenta la producción de la planta gracias a la eliminación de sombras entre trackers

SOBRE EL MÉTODO DE EJECUCIÓN

Para la comparativa presentada en este Artículo Técnico – ya que se trata de hacer una comparativa de detalle, tanto anual como hora a hora –, se ha escogido en el SRM el modo de ejecución LENTO. Este es el método más preciso que ofrece el SRM para calcular las sombras geométricas.

En ORUGA®, se ha escogido la alternativa PRECISE, también la de mayor precisión. Sin embargo, la alternativa FAST genera unos resultados con diferencias en producción anual despreciables respecto a la opción PRECISE, pero con la ventaja de que el tiempo de computación se reduce significativamente.

3. USO DEL SRM PARA PLANTAS COMERCIALES EN TERRENOS 3D

Ya se ha comentado anteriormente que el SRM no puede aplicar las curvas I-V en plantas mayores de 1 MWp, siendo esta la única alternativa válida para calcular con precisión la producción de la planta en terrenos complicados (ver sección 1).

Pues bien, cuando la planta tiene un tamaño comercial (>1 MWp), el SRM ofrece 2 alternativas de cálculo:

- “**Linear Shadings**”: sólo se consideran las sombras geométricas, no las eléctricas
>>> **se SOBRESTIMA la Producción Anual**
- “**According to Module Strings**”: cuando un *string* es sombreado en parte, todo el *string* se considera inactivo (para la componente directa de la radiación)
>>> **se SUBESTIMA la Producción Anual**

Se ha calculado con el SRM qué ocurre con la Producción Anual en estas dos situaciones para el Caso 5 de la Tabla 2 (1 MWp, Tracker 1V, Bifacial, Célula Partida):

OPCIÓN DE CÁLCULO	PRODUCCIÓN ANUAL	
	[kWh]	[-]
Curvas I-V – Module Layout	2 007	100.0%
Linear Shadings	2 076	103.4%
According to Module Strings (100%)	1 963	97.8%

Tabla 4: SRM. Resultados dependiendo de la opción de cálculo elegida

Se observa que, en este caso concreto,...

- La opción “**Linear Shadings**” **sobreestima la producción anual un 3.4%**
- La opción “**According to Module Strings**” **subestima la producción de la planta un 2.2%**

Las desviaciones para otros casos variarán en función de la complejidad del terreno y de las características específicas de la planta. En general, cuanto mayores sean las sombras, mayor será la diferencia entre las dos opciones señaladas aquí (“Linear Shadings” y “According to Module Strings”).

4. ¿POR QUÉ ORUGA®?

En terrenos complejos, las ondulaciones de la superficie generan sombras entre *trackers* que reducen el rendimiento de la planta, tanto más cuanto más complejo sea el terreno.

Actualmente, no existe ningún software comercial que sea capaz de calcular con precisión esta reducción, ni tampoco cuánta de esta producción perdida se va a recuperar por el uso de un Algoritmo de *Backtracking* 3D.

De hecho, el Software de Referencia del Mercado (SRM) establece en su página web que, para plantas comerciales, no puede calcular de manera precisa la Producción Eléctrica y ofrece las dos opciones mencionadas en el apartado anterior, las cuales, o bien sobreestiman o bien subestiman la Producción Eléctrica en terrenos 3D.

El software ORUGA®, certificado por un Asesor Técnico, viene a llenar ese vacío existente en la Industria PV y ofrece una herramienta de cálculo de producción para terrenos 3D tan precisa como el SRM cuando la planta es de 1 MWp pero sin las limitaciones que tiene este programa para tamaños de planta comercial.

De manera abierta y bancable, en este Artículo Técnico se demuestra la réplica de resultados entre ORUGA® y el SRM, lo cual convierte a ORUGA® en una herramienta diferenciadora para el sector fotovoltaico.

SOFTWARE APLICABLE		TERRENO	
		PLANO	3D
POTENCIA DC	<1 MWp	SRM y ORUGA®	SRM y ORUGA®
	>1 MWp	SRM y ORUGA®	ORUGA®

ANEXO 1 – INFORMACIÓN SOBRE EL SOFTWARE ORUGA®

El software ORUGA® es una herramienta de optimización completamente desarrollada por Sener para la **optimización 3D de proyectos PV**. Es especialmente útil en **terrenos de orografía complicada**.

ORUGA® proporciona el **diseño de planta más rentable para cualquier terreno dado**, gracias a sus características diferenciadoras:

1. Cálculo preciso de la **Obra Civil**, incluyendo la optimización del Movimiento de Tierras y de la Estructura Metálica
2. Determinación exacta de la **Producción Eléctrica – certificado por un Asesor Técnico –**, considerando...
 - a. Sombras reales entre *trackers*, usando el método de trazado de rayos
 - b. Curvas I-V de células+módulos+*strings*+inversores
 - c. Algoritmo de *Backtracking* 3D que minimiza las sombras entre *trackers* en todo momento
3. **Modo Iterativo** para gestionar miles de alternativas de diseño, evaluando su CAPEX, OPEX, Producción y – por tanto – el LCOE de cada una de ellas

Sener proporciona servicios de Ingeniería avanzada apoyándose en ORUGA®. Básicamente, hay **3 opciones**:

- A. Optimización de la Obra Civil, cuando el *layout* de la planta (XY) está definido
- B. Cálculo de la Producción Eléctrica Anual, cuando el *layout* de la planta (XYZ) está definido
- C. Optimización tecno-económica, cuando hay posibilidad de mejorar el diseño de planta

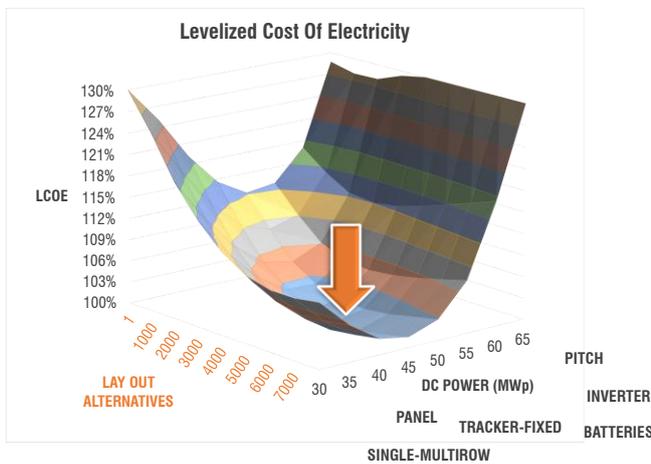


Fig. 4: Optimización 3D del Diseño de planta para minimizar el LCOE en terrenos de orografía complicada

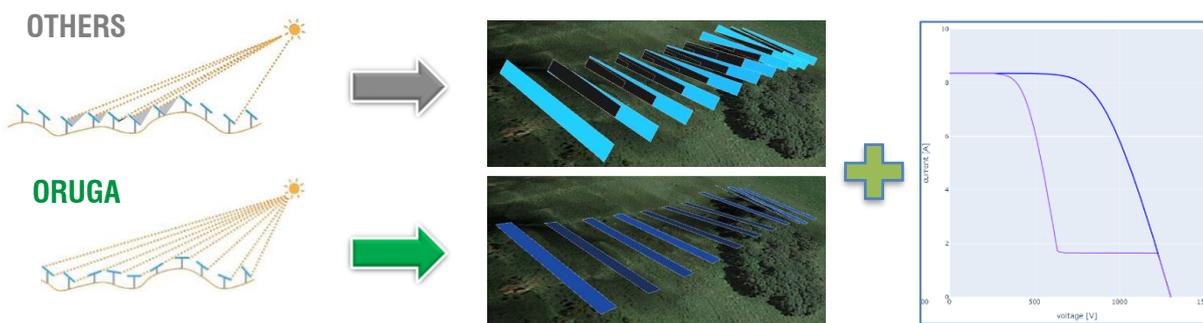


Fig. 5: Algoritmo de *Backtracking* 3D para incrementar la producción eléctrica y la durabilidad de los módulos + Implementación precisa de las Curvas I-V



Fig. 6: Proceso de Optimización de Obra Civil

ANEXO 2 – REFERENCIAS

En la siguiente tabla se muestran los proyectos PV en los que se ha usado ORUGA® hasta el día de hoy:

#	FECHA	EMPRESA(*)	POTENCIA [MWp]	OPCIÓN CONTRATADA			
				Optimización de Diseño MEJOR LCOE	Optimización de Obra Civil	Cálculo de Producción	Chequeo de Obra Civil y Performance
1	feb-20	ACCIONA	190				
2	mar-20	A&G RENOVABLES	200				
3	may-20	ARRAY	225				
4	dic-20	ATA RENEWABLES	116				
5	abr-21	CEPSA	120				
6	may-21	ENFINITY	50				
7	jun-21	ESPARITY SOLAR	15				
8	jul-21	FCC INDUSTRIAL	70				
9	ago-21	FRV	30				
10	ago-21	GALP	55				
11	sep-21	GES	100				
12	oct-21	IDEEMATEC	50				
13	ene-22	IGNIS	40				
14	feb-22	IMASA	72				
15	feb-22	NEOEN	72				
16	feb-22	NEOEN	270				
17	mar-22	NEOEN	40				
18	jul-22	NEOEN ECUADOR	400				
19	sep-22	NEXTERA	166				
20	sep-22	OHL INDUSTRIAL	16				
21	oct-22	QAIR	528				
22	dic-22	Q-ENERGY	150				
23	ene-23	SOLARIA	-				
24	feb-23	SOLETRAX	50				
25	mar-23	SOLTEC	30				
26	mar-23	VINCI ENERGIES	761				
27	abr-23	X-ELIO	271				
28	may-23	X-ELIO	240				
29	may-23	X-ELIO	82				
			4409				

Tabla 5: Referencias de ORUGA®

NOTAS:

1. Las empresas implicadas se listan en orden alfabético – no cronológico como el resto de columnas – por motivos de confidencialidad
2. El cálculo de producción también se realiza en la opción *Optimización de Diseño – MEJOR LCOE*

¿Quieres más información sobre el software ORUGA®?

¿Tienes un proyecto en un terreno complejo y crees que debería optimizarse?

Escríbenos a orugaPV@sener.es