

Software ORUGA® MÓDULO de Obra Civil OPTIMIZACIÓN 3D del Diseño

23 Enero 2023

0. RESUMEN EJECUTIVO

El software ORUGA® permite un cálculo preciso, automático y realista del Movimiento de Tierras y del Diseño de Pilares para cualquier terreno y *tracker* (o estructura fija) del mercado, a la vez que optimiza los volúmenes a mover en planta.

La herramienta ha sido desarrollada íntegramente por el equipo de Soluciones Digitales de Sener y persigue reducir las incertidumbres de diseño e inversión en proyectos PV situados en terrenos de orografía compleja.

Además, ORUGA® tiene la capacidad de cálculo iterativo, es decir, puede gestionar miles de alternativas de diseño, evaluando con precisión su CAPEX, OPEX y Producción Eléctrica, determinando así el LCOE (*Levelized Cost of Electricity*) en cada caso. De esta manera, ORUGA® puede encontrar el diseño óptimo, aquel que maximiza la rentabilidad del proyecto.

Estas nuevas capacidades suponen un salto adelante con respecto a los programas comerciales existentes en el mercado, los cuales, o bien proporcionan estimaciones alejadas de la realidad o bien requieren un tiempo y experiencia considerables, sin garantía de optimización de los volúmenes.

1. EL PROBLEMA

La Obra Civil de una planta PV en un terreno complicado es un factor que puede decidir la rentabilidad del proyecto, por su gran influencia en el CAPEX del mismo y, colateralmente, en la Producción Eléctrica Anual. Esta Obra Civil englobaría, entre otras cosas, tanto el Movimiento de Tierras (en adelante, MdT) como la instalación de los pilares de los *trackers* o de las estructuras fijas donde están instalados los paneles fotovoltaicos.

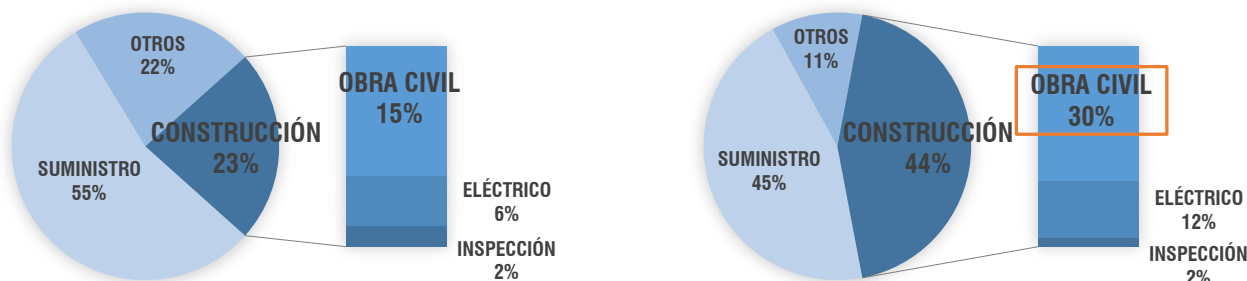


Fig. 1: Influencia de la Obra Civil en el CAPEX del proyecto. Terreno plano (izqda.) y terreno complicado (dcha.). Fuente: IRENA¹

De estos parámetros, típicamente es el MdT el que mayor influencia tiene en la Obra Civil de la planta en terrenos complicados. Los volúmenes de tierra a mover para preparar el terreno de manera que se cumplan los requisitos de diseño de los *trackers* (o estructuras fijas) en una planta de 50 MWp pueden llegar a los cientos de miles de m³, con ratios del orden de 10 000 m³ por cada MWp instalado o superiores.

En este caso, asumiendo un coste de 4 EUR/m³, sólo el MdT de una planta de 50 MWp en un terreno complicado supondría 2 MEUR, el 7% aprox. del CAPEX total (30 MEUR).

¹ IRENA (2020), Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. Comparativa entre USA y Japón

Estado del Arte

El diseño del MdT en terrenos complejos, además, **no es una tarea de fácil realización**. O, mejor dicho, no es fácil de optimizar, de conseguir que se reduzca al mínimo a la vez que se cumplen todas las tolerancias de instalación de los *trackers* (o estructuras fijas) y de preparación del terreno final.

En el mercado existen programas comerciales que ayudan al usuario a realizar el MdT de las plantas PV en terrenos complicados. Estos se podrían dividir en dos grandes grupos:

1. Softwares dedicados al diseño global de la planta PV, que incluyen un asistente para estimar el MdT del proyecto
2. Softwares específicos para el modelado del terreno

Los primeros tienen el inconveniente de que las estimaciones que realizan distan significativamente de la realidad o bien del diseño que se realizaría en fase de Ingeniería de detalle².

Los segundos, si bien precisos y ampliamente utilizados no sólo en la Industria PV, no optimizan *per se* la cantidad de MdT (esto dependerá de la destreza y experiencia del usuario) y requieren un tiempo considerable para su ejecución: típicamente, una persona especialista tardaría de 2 a 3 semanas en realizar el MdT completo de una planta de 50 MWp en un terreno complicado, y sin garantía de MdT mínimo.

Hay que notar también que la configuración final del terreno tiene una influencia decisiva en la producción eléctrica de la planta: **un terreno complicado genera sombras entre los *trackers*, reduciendo la producción de la planta** (ver Fig. 2)³.

La incertidumbre en el MdT conlleva una incertidumbre en el cálculo de producción eléctrica.

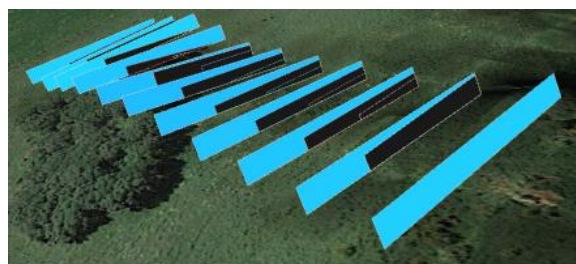
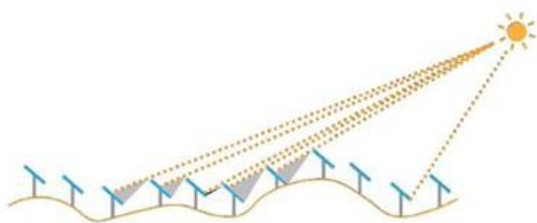


Fig. 2: Sombras entre *trackers* provocadas por las ondulaciones del terreno

2. LAS CONSECUENCIAS

No poder calcular y optimizar con fiabilidad y en poco tiempo el MdT de las plantas PV en terrenos de orografía complicada **aumenta considerablemente la incertidumbre y los riesgos en las fases de Desarrollo y Construcción de un proyecto**. A nuestros Clientes (ver ANEXO 2) les surgen las siguientes preguntas:

- Como **Desarrollador de Proyectos...**
 - ¿Puedo hacer una oferta de energía (EUR/MWh) fiable, que vaya a asegurar la rentabilidad a largo plazo de mi negocio?
 - ¿Se va a cumplir el *Business Model*?
 - ¿El Asesor Técnico del Banco va a aceptar la estimación de MdT que he considerado, junto con el CAPEX asociado?
 - ¿La producción eléctrica anual está bien calculada para este terreno?
 - ¿Estoy cumpliendo los requisitos del Estudio de Impacto Ambiental de la planta?
- Como **EPCista...**
 - ¿Puedo garantizar el CAPEX que me pide el Desarrollador o es inalcanzable?
 - ¿El *layout* que propone el Desarrollador es construible?
 - ¿Puedo ofrecer un *layout* alternativo al Desarrollador que minimice el CAPEX?
 - ¿Cuál es el mejor *tracker* para este terreno?
 - ¿Qué nivel de producción puedo llegar a garantizar en este proyecto, que tiene el terreno tan ondulado?

² Esto se trata en profundidad en el apdo. 3

³ Para más información, léase el artículo *Software ORUGA® - MÓDULO de PERFORMANCE*, 25 Noviembre 2022, disponible [aquí](#)

3. LA SOLUCIÓN

El software ORUGA® permite un cálculo preciso, automático y realista del Movimiento de Tierras y del Diseño de Pilares para cualquier terreno y *tracker* (o estructura fija) del mercado.

ORUGA®, desarrollado desde 2017 en paralelo con otras herramientas de digitalización y automatización de Ingeniería en Sener, implementa algoritmia avanzada enfocada a la **generación de superficies continuas** (sin taludes o escalones abruptos) dentro de la parcela de la planta que cumplan **2 objetivos** fundamentales:

1. Cumplir las tolerancias de diseño de los *trackers*:

- Pendiente Norte-Sur absoluta
- Pendiente Norte-Sur relativa entre filas del mismo tracker (bifila o multifila)
- Pendiente Este-Oeste absoluta
- Pendiente Este-Oeste relativa entre filas del mismo tracker (bifila o multifila)
- Altura mínima de pilar
- Altura máxima de pilar

2. Minimizar el Movimiento de Tierras

Aquí existen 2 opciones:

- Generar un balance Desmonte/Terraplén específico (habitualmente se requiere 50/50 ó 55/45), o bien...
- Realizar el MdT que lleve al mínimo coste de Obra Civil basándose en estos parámetros:
 - Coste de desmonte
 - Coste de terraplén
 - Coste de préstamo (traer tierra desde fuera de la planta)
 - Coste de vertedero (sacar tierra de la planta)
 - Coste de cimentación
 - Máximos volúmenes de préstamo/vertedero

Para dar una idea de las superficies generadas por ORUGA®, a continuación se muestra una comparativa de resultados con el Asistente de Obra Civil de un Software Comercial (grupo 1, ver sección 1 – Estado del Arte) para una planta de 70 MWp:

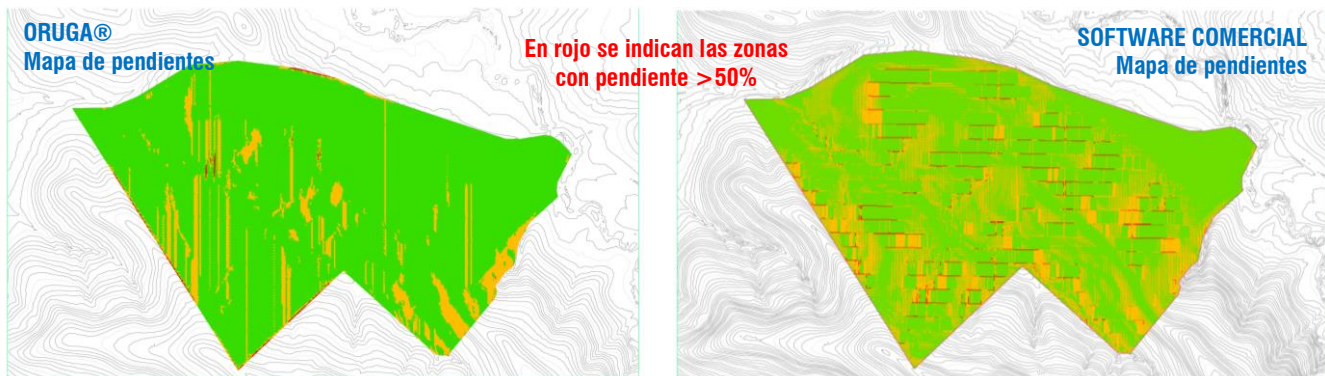


Fig. 3: Comparativa de resultados entre ORUGA® (izqda.) y Software Comercial (dcha.) para un *layout* dado (arriba a la dcha.)

Se aprecia claramente como **el Software Comercial genera una superficie en base a terrazas, existiendo taludes abruptos entre ellas**. Esto se aprecia mejor en la siguiente figura, que representa una sección Norte-Sur del terreno:

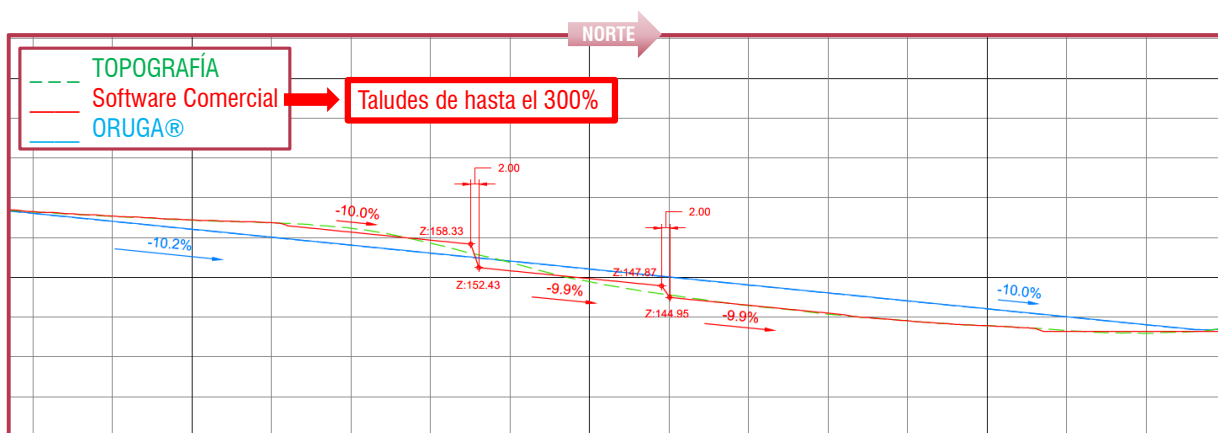


Fig. 4: ORUGA® vs Software Comercial. Corte Norte-Sur del terreno

Estas terrazas no sólo tienen el problema de que hacen muy difícil (si no imposible) la construcción de la planta, sino que también llevan a una subestimación muy importante del Movimiento de Tierras: en este caso concreto, **el Software Comercial estimó un MdT 5 veces inferior al de ORUGA®.**

La diferencia de alturas en este caso es tan acusada en algunas zonas (taludes de 6 m de alto y 300% de pendiente, ver Fig. 4), que **se generan sombras entre baterías de trackers de Sur a Norte incluso a mediodía.** Esto afecta significativamente a la *performance* de la planta y a la durabilidad de los módulos:

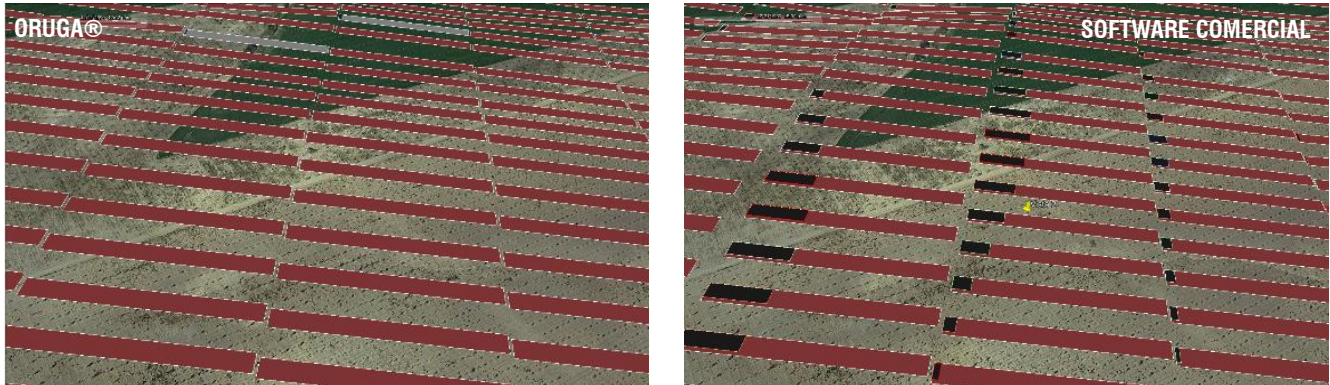


Fig. 5: Cálculo de sombras mediante traceado de rayos para ORUGA® (izqda.) y Software Comercial (dcha.) en el caso de estudio

El Proceso de Cálculo

El proceso de Optimización de Obra Civil con ORUGA® para un *layout* dado empieza siempre por la topografía original del terreno (superficie azul en la Fig. 6 abajo) y la definición de las zonas prohibidas dentro de la parcela (aquellas donde no se pueden colocar trackers y/o no se puede mover tierra). Seguidamente, se definen los condicionantes de diseño, como las tolerancias constructivas de los trackers y los requisitos del MdT (balance Desmonte/Terraplén, máximos volúmenes a excavar...). El resultado del proceso sería la superficie objetivo (verde en la Fig. 6 abajo), que cumple los 2 objetivos principales: hacer que los trackers cumplan las tolerancias de diseño y minimizar el volumen total de MdT (o bien el coste total de MdT).

Generada esta superficie objetivo y creado el modelo 3D de los trackers sobre el terreno (ver Fig. 8), la generación de planos y listados para el equipo de Ingeniería es automática. **El Caso 1 en la sección 5 es un ejemplo real de Optimización de Obra Civil**

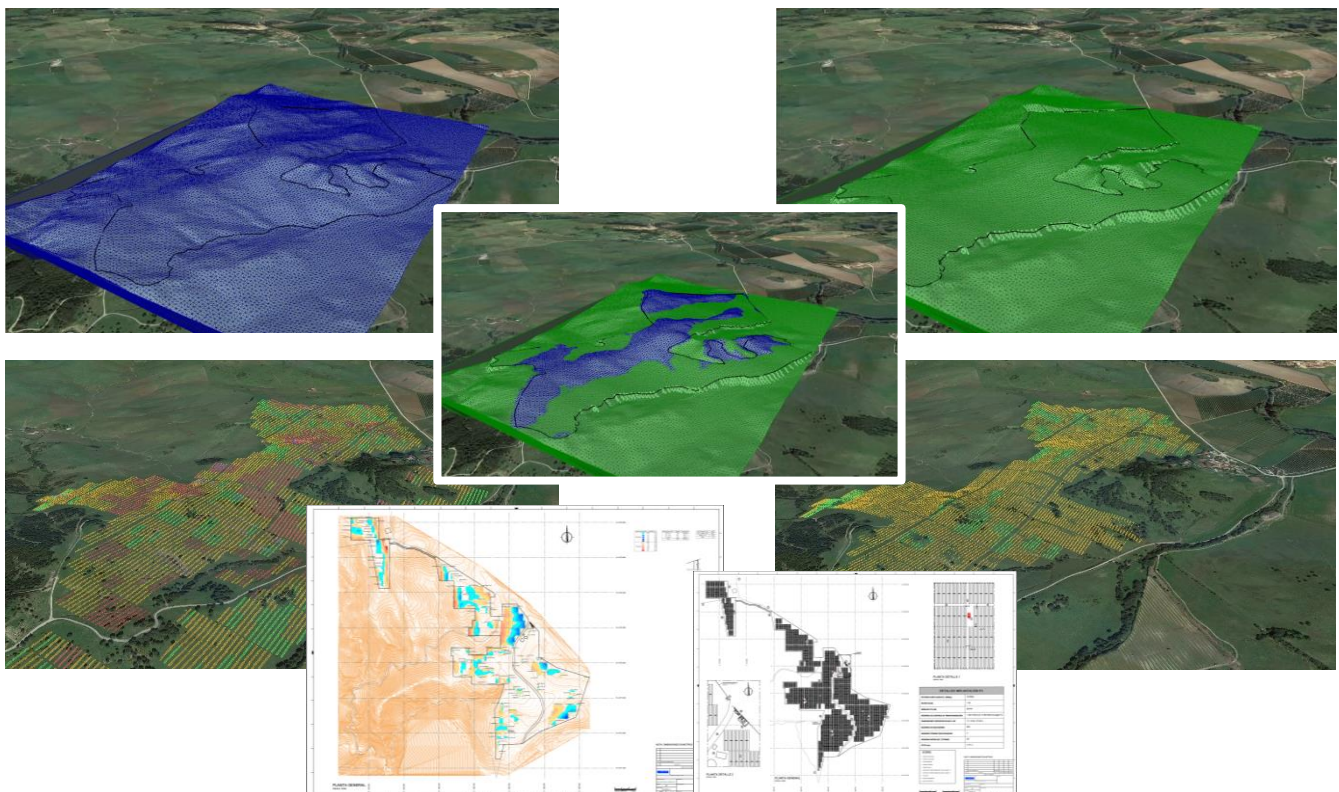


Fig. 6: Proceso de optimización de Obra Civil. Izqda.: topografía original (azul) y *layout* inicial (se observan trackers fuera de tolerancia, en rojo). Dcha.: topografía objetivo (verde) y *layout* final (no hay trackers fuera de tolerancia). Abajo: planos de MdT con curvas de nivel y *layout*

4. UN PASO MÁS: OPTIMIZACIÓN 3D DEL DISEÑO DE PLANTA

ORUGA® tiene la capacidad de **cálculo iterativo**, es decir, puede gestionar miles de alternativas de diseño, evaluando su...

- CAPEX, que incluirá un cálculo preciso de MdT y de alturas de pilares,
- OPEX y
- Producción, que se calculará considerando en detalle la configuración 3D de los trackers,

y, por tanto, el LCOE (*Levelized Cost of Electricity* o Coste Medio de la Energía) de cada una de ellas. De esta manera, **ORUGA® puede encontrar el diseño óptimo, que maximiza la rentabilidad del proyecto**. Esta capacidad es muy útil cuando hay capacidad de modificación del diseño (normalmente en fases tempranas del proyecto):

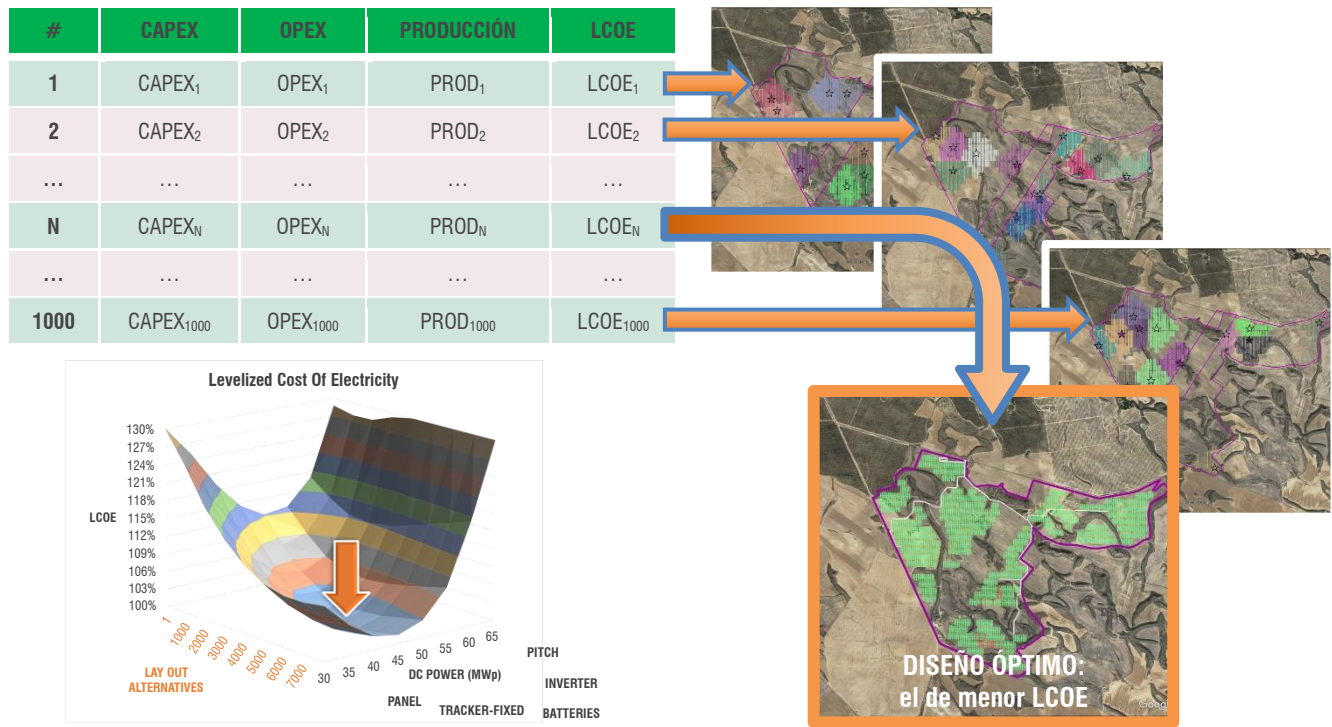


Fig. 7: Proceso de optimización de diseño (iterativo)

Las alternativas de diseño que maneja ORUGA® en un proceso de optimización como el que se muestra en la anterior figura surgen de combinar todos los posibles parámetros que se quieren estudiar. P.e., si un Desarrollador no sabe qué modelo de tracker es el adecuado para un terreno concreto y tampoco sabe qué potencia DC instalar ni con qué GCR (*Ground Coverage Ratio*), se podría plantear un estudio en el que se consideraran...

- A modelos de tracker
- B potencias DC
- C valores de GCR

El Caso 2 en la sección 6 es un ejemplo real de Optimización 3D de Diseño

ORUGA® calcularía entonces el LCOE de A x B x C alternativas de diseño. Para ello, en cada una de estas alternativas, encontraría el *layout* óptimo tras probar las miles de opciones de implantación en la parcela (ver figura anterior). **Este es el valor añadido de ORUGA®: introduce la variable IMPLANTACIÓN en el proceso de optimización de diseño de una planta PV, calculando de manera precisa, además, el Movimiento de Tierras, la Longitud Total de Pilares y la Producción Eléctrica de la planta en un escenario 3D. Estas variables son cruciales para poder calcular sin incertidumbres el LCOE del proyecto.**

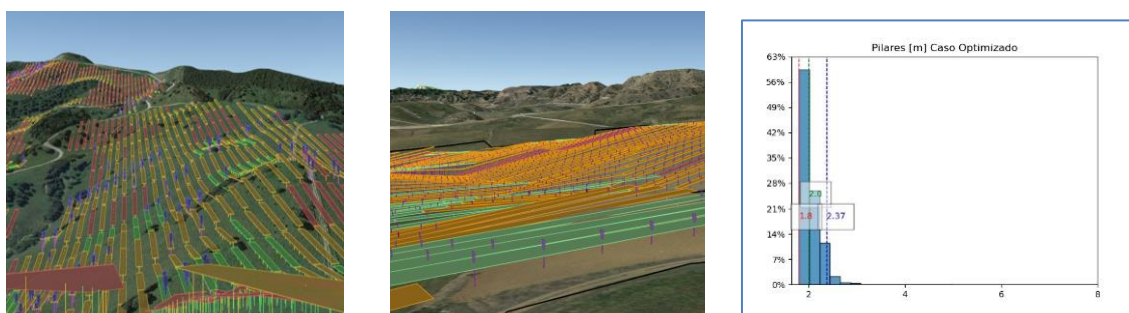


Fig. 8: Modelización 3D de la planta e histograma de alturas de pilar

5. CASO REAL DE APLICACIÓN #1

Recientemente, un Desarrollador encargó una Optimización de Obra Civil a Sener para una **planta PV en desarrollo en un terreno con orografía extremadamente complicada**. La planta tiene 400 MWp aprox., tracker 1V bifila y paneles bifaciales de célula partida. Está localizada en el continente americano.

La estimación inicial de MdT por parte del Cliente ascendía a 14 Mm³, lo cual suponía 56 MEUR, un 18% aprox. del CAPEX total del proyecto.

El Cliente quería 1) calcular de manera precisa el MdT de la planta, 2) reducir esta cantidad lo máximo posible y 3) evaluar el impacto del terreno en la producción de la planta, todo lo cual no podía hacer con las herramientas comerciales a su disposición.

Aplicando ORUGA®, se realizó en primer lugar un estudio de optimización con objeto de minimizar el MdT de la planta en su conjunto. Acto seguido, se realizaron análisis de sensibilidad del MdT de una parcela modificando diferentes parámetros de diseño con objeto de aconsejar al Cliente sobre las posibles vías de reducción del MdT y, por último, se realizó un cálculo de producción eléctrica de la planta.

Los resultados del análisis se muestran a continuación:

MOVIMIENTO DE TIERRAS, miles de m ³				
CASO	DESMONTE	TERRAPLÉN	TOTAL	m ³ por cada m ²
Estimación inicial del Cliente	8 000	6 000	14 000	1.6
ORUGA®	6 709	5 489	12 197	1.4
PARCELA				
NORTE-1	1 137	930	2 067	1.2
NORTE-2	660	540	1 200	0.6
NORTE-3	821	672	1 494	0.9
NORTE-4	1 368	1 120	2 488	1.4
SUR-1	734	601	1 335	1.9
SUR-2	738	603	1 341	3.0
SUR-3	1 250	1 023	2 273	3.0

Tabla 1: Resultados. Optimización de Obra Civil

Se aprecia claramente que el terreno de la planta es extremadamente complejo, con un promedio de excavación de 1.4 m³ por m² de superficie de terreno, o bien 14 000 m³ por Ha. Las parcelas del Sur son particularmente accidentadas.

Asimismo, se observa cómo ORUGA® ha conseguido bajar un 13% el volumen de MdT inicialmente estimado por el Cliente. Esto supone un ahorro de 7.2 MEUR aproximadamente.

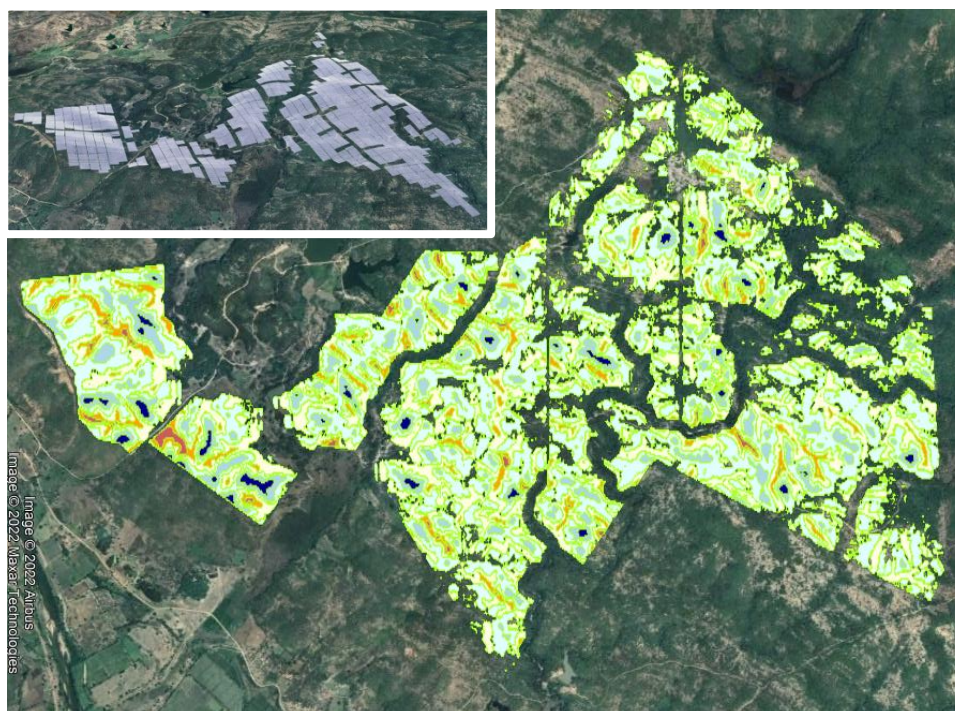


Fig. 9: Optimización de Obra Civil. Layout original (arriba izqda.) y zonas de MdT calculado por ORUGA® (azul: desmonte, rojo: terraplén)

MOVIMIENTO DE TIERRAS, miles de m ³				
PARCELA	DESMONTE	TERRAPLÉN	TOTAL	TOTAL
NORTE-2	660	540	1 200	100%
SENSIBILIDAD				
Eliminación de la restricción de pendiente relativa N-S entre <i>trackers</i> [antes 2%]	443	362	805	67%
Aumento de la pendiente máxima N-S absoluta desde 15% hasta 20%	637	522	1 159	97%
Aumento de la diferencia entre las alturas mínima y máxima de pilares desde 0.6 hasta 1.0 m	543	444	987	82%

Tabla 2: Resultados. Sensibilidades

Se puede ver perfectamente que el diseño de *tracker* actual (bifila 1V) NO es adecuado para el terreno de la planta: eliminando la restricción de pendiente N-S diferencial entre las 2 filas de cada *tracker* (es decir, “convirtiendo” en monofilas los bifilas de la planta, ver Fig. 10), se consigue una bajada del MdT del 33% sobre la parcela de estudio.

Por otro lado, aumentar la tolerancia en altura de los pilares en 40 cm (de 60 cm a 1 m), disminuye el volumen de MdT un 18%.

Aumentar la pendiente N-S máxima de los *trackers* de 15% a 20% no tiene un impacto tan acusado como los dos parámetros anteriores.

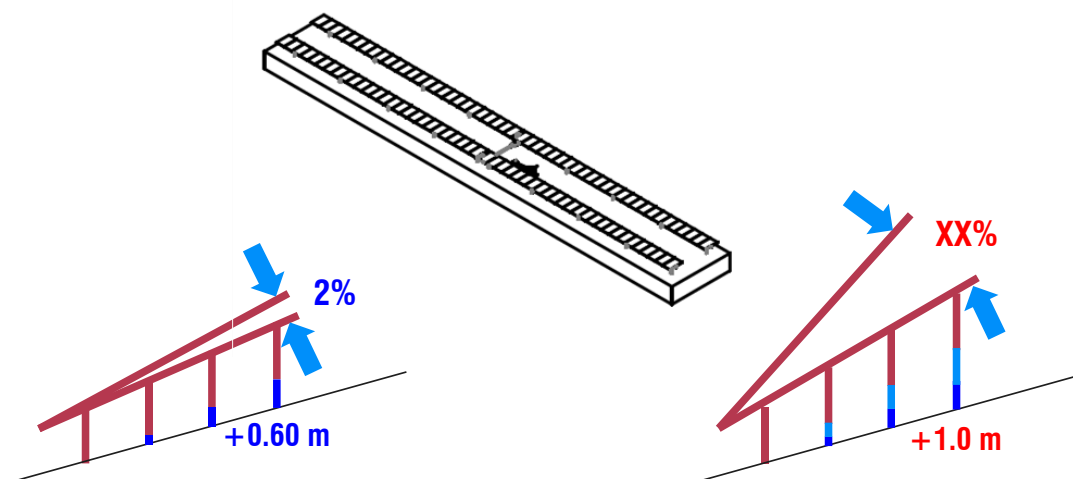


Fig. 10: Análisis de sensibilidad a la pendiente N-S diferencial y a la altura de los pilares. Izqda.: diseño original. Dcha.: nuevo diseño

En cuanto al **impacto económico** resultante de estos cambios de diseño, estos no se han evaluado, si bien a continuación se indica el **ahorro** aproximado que producen:

- Eliminación de la pendiente N-S diferencial: 16.1 MEUR = 0.030 EUR/Wp = 5.1% del CAPEX total
- Aumento de pendiente máxima N-S absoluta: 1.5 MEUR = 0.003 EUR/Wp = 0.5% del CAPEX total
- Aumento de la tolerancia de pilares: 8.8 MEUR = 0.017 EUR/Wp = 2.8% del CAPEX total


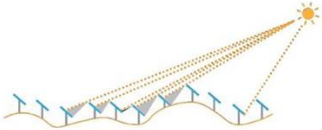
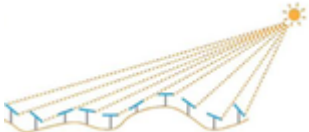
PRODUCCIÓN ELÉCTRICA ANUAL			
CASO	TERRENO	BACKTRACKING	PRODUCCIÓN ANUAL
A	 Plano	2D	100.0%
B	 3D	2D	96.7%
C	 3D	3D	98.7%

Tabla 3: Resultados. Producción eléctrica anual

En cuanto a la producción eléctrica anual (ver Tabla 3 anterior), la configuración XYZ final de los trackers sobre el terreno con el MdT realizado hace que la producción baje un 3.3% con respecto a un cálculo sobre un terreno plano ideal (Caso B vs Caso A).

La aplicación del **Backtracking 3D de ORUGA®⁴** recuperaría parte de esta pérdida, dejando la bajada de producción por el terreno en un 1.3% (Caso C vs Caso A). Esta mejora se debe a la eliminación de sombras entre trackers:

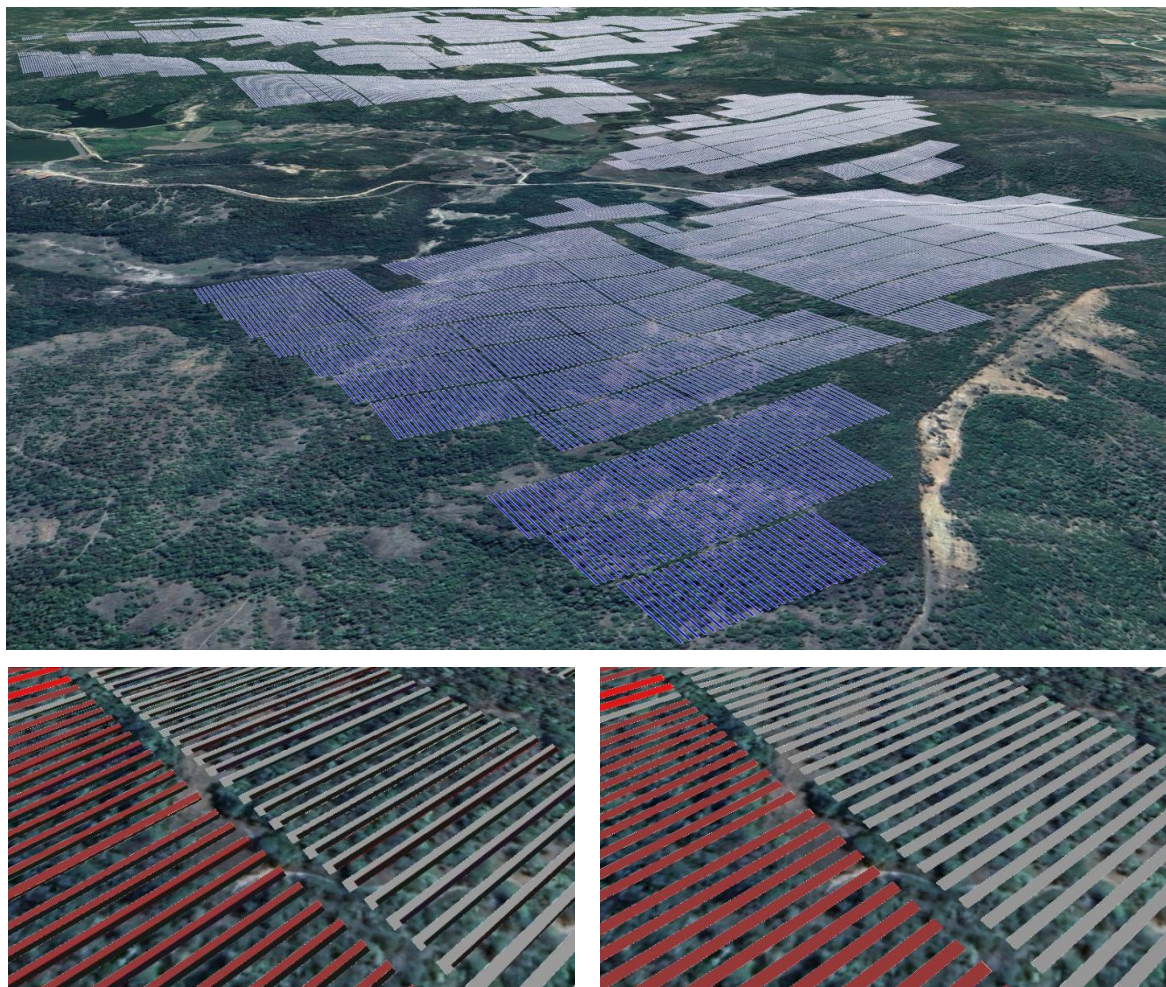


Fig. 11: Modelo 3D de la planta (arriba) y cálculo de sombras entre trackers (abajo; izqda.: Backtracking 2D, dcha.: Backtracking 3D)

⁴ El **Backtracking 3D** de ORUGA® utiliza una estrategia de seguimiento del Sol adaptada a la topografía 3D del terreno que minimiza las sombras entre trackers, maximizando a su vez la producción de la planta. La lógica de **Backtracking 2D** o **Backtracking Plano** es una estrategia convencional de seguimiento en la Industria PV, que considera que el terreno es perfectamente plano. En terrenos de orografía complicada, el **Backtracking 2D** genera sombras entre trackers

¿Qué NO hace ORUGA®?

ORUGA® es un programa que modifica la topografía original de un terreno generando una superficie objetivo en la que los *trackers* cumplen las tolerancias de diseño a la vez que se minimiza la Obra Civil. Esta superficie es precisa, de generación automática y realista, en el sentido de que es una **superficie suave**, donde sólo existen taludes en el borde de la parcela (a menos que se defina otro criterio). Ver gráficas a continuación para más información.

Sin perjuicio de lo anterior, el programa no está preparado a día de hoy para calcular automáticamente lo siguiente...

- Estudios de Hidrología y Drenajes
- Diseño de detalle de caminos, trincheras, redes de enterrados, etc...
- Cálculo estructural de taludes, muros y similares

En cuanto a la precisión de ORUGA®, se refiere al lector a las gráficas de la siguiente página, como ejemplo ilustrativo.

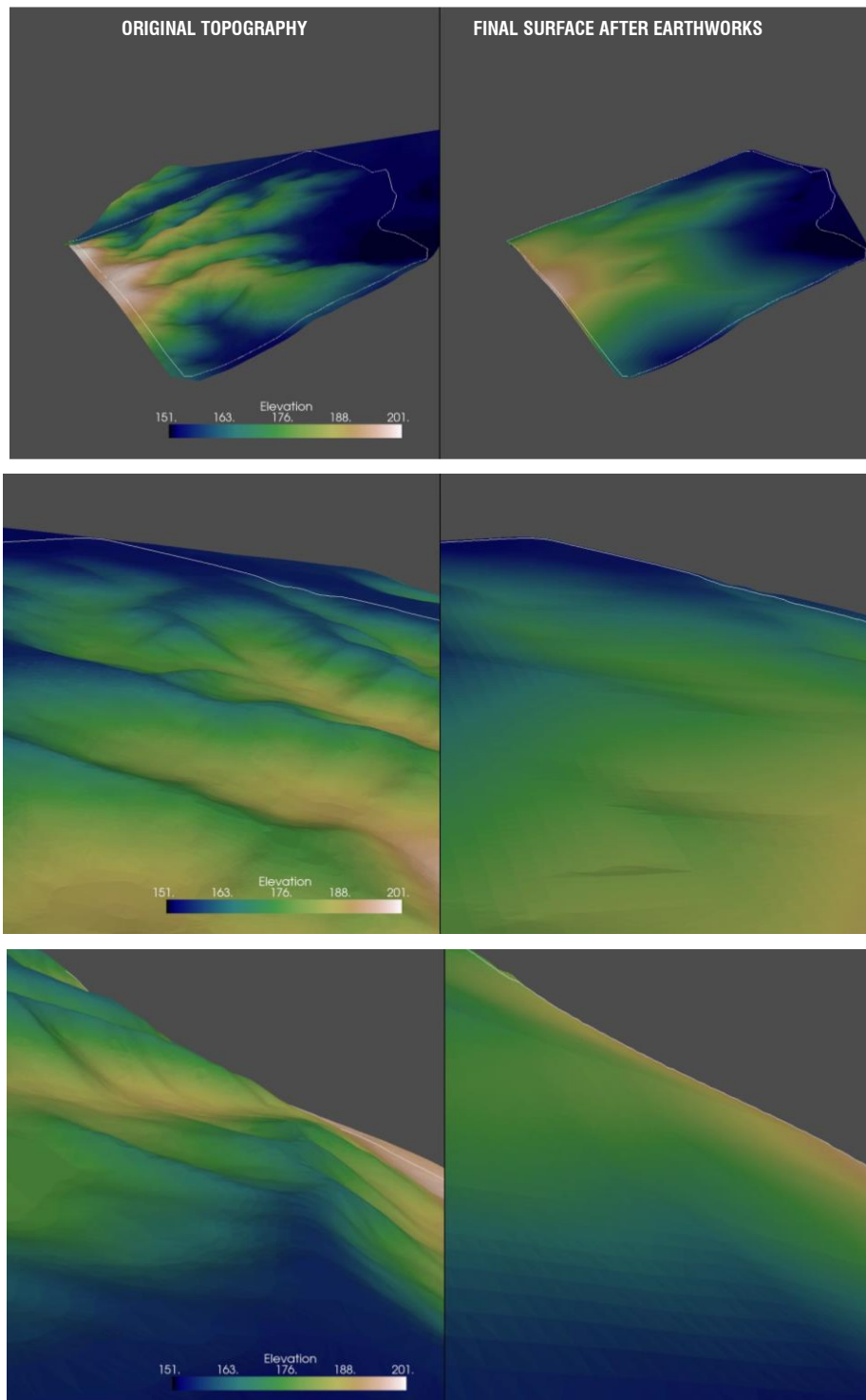


Fig. 12: Resultados. Topografía original (izqda.) y superficie objetivo (dcha.)

PRECISIÓN DE LOS RESULTADOS

En el cálculo de MdT de este proyecto, la convergencia de la solución de ORUGA® es como sigue:

- **99.5% de los pilares dentro de tolerancia de diseño** (± 5 cm adicional por tolerancia de construcción)
NOTA: los pilares fuera de tolerancia aparecen principalmente en las zonas de borde, donde los trackers se acercan al talud que rodea el contorno de la planta. Estos taludes son particularmente altos en algunas zonas de la planta debido a la complejidad del terreno de este caso concreto
- **100% de los trackers cumplen la pendiente N-S máxima**
- **99.9% de los trackers cumplen la pendiente E-O máxima**

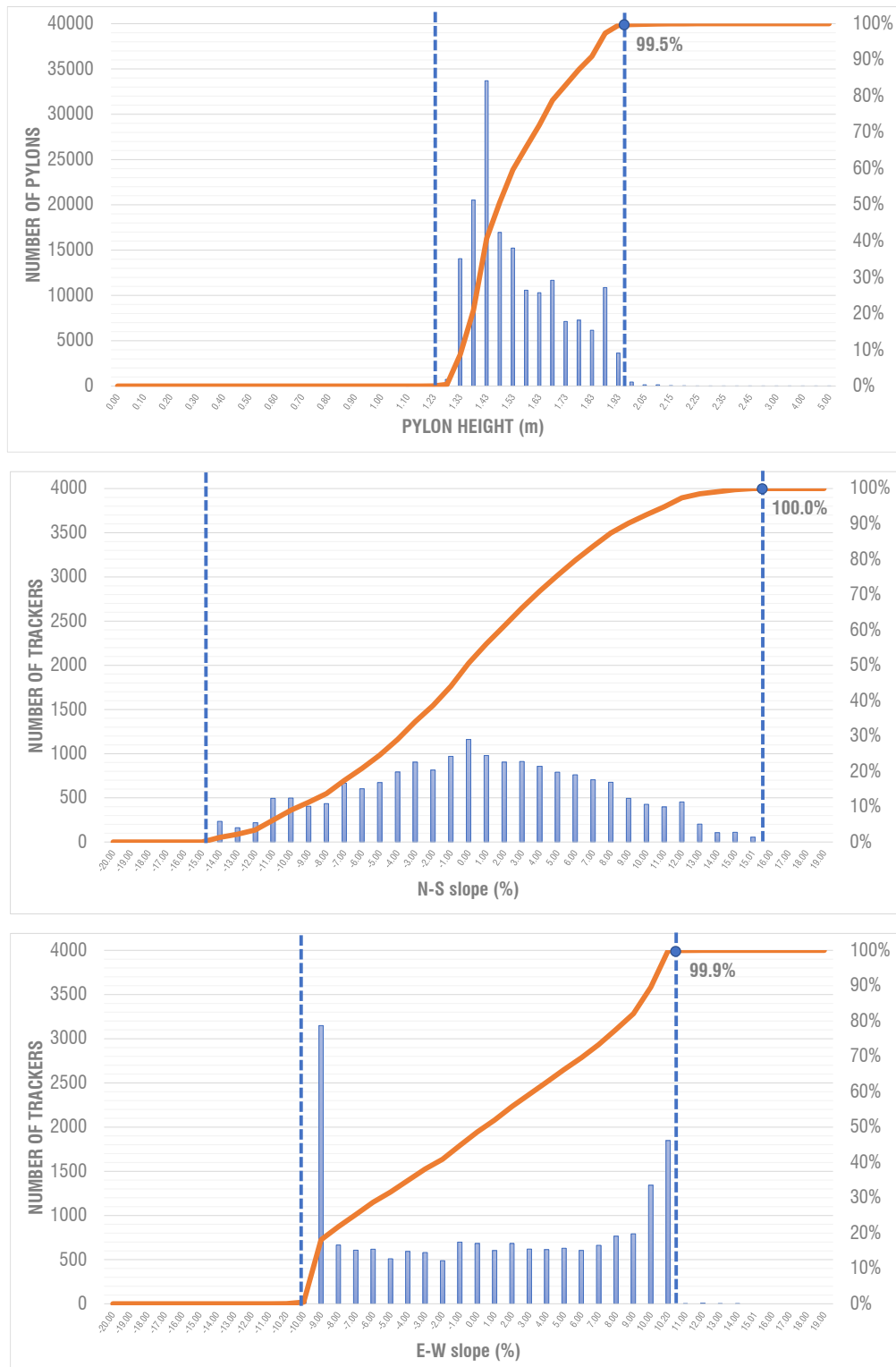


Fig. 13: Precisión de los resultados

6. CASO REAL DE APLICACIÓN #2

En 2022, un Desarrollador encargó una Optimización de Diseño a Sener para **dos proyectos PV en desarrollo en un terreno con orografía complicada**. La potencia de cada planta es de 100 MWp aprox. con paneles bifaciales de célula partida. Está localizada en el continente americano.

El Cliente quería 1) definir la potencia y GCR óptimos, 2) decidir sobre el tracker más adecuado para cada proyecto y 3) evaluar el impacto del terreno en la producción de la planta, lo cual no podía hacer con las herramientas comerciales a su disposición.

Se habían recibido Ofertas Técnico-Económicas en firme de 4 suministradores de trackers, los cuales diferían mucho entre sí en cuanto a diseño, tolerancias constructivas y precio por Wp.

La clave para tener certidumbre en los valores de LCOE calculados en este estudio fue la capacidad de ORUGA® para...

- **Calcular de manera precisa el MdT del proyecto para todos los trackers**
- **Calcular de manera precisa la Producción Anual en un terreno 3D para todos los trackers**
- **La posibilidad de cálculo iterativo para definir el layout óptimo desde el punto de vista del LCOE**

Aplicando ORUGA®, se realizó primeramente un estudio de optimización de diseño con objeto de definir la potencia DC y el GCR óptimos. Los **resultados** del análisis se muestran a continuación:

Potencia DC			
PROYECTO 1			
TRACKER	GCR	POTENCIA DC	LCOE ⁵
Tracker 1		Base – 4 MWp	102.3%
		Base	101.8%
Tracker 2	GCR 2	Base + 4 MWp	102.2%
		Base – 4 MWp	100.2%
		Base	100.0% <i>óptimo</i>
		Base + 4 MWp	100.4%
PROYECTO 2			
TRACKER	GCR	POTENCIA DC	LCOE
Tracker 1		Base – 4 MWp	101.4%
		Base	100.9%
Tracker 2	GCR 2	Base + 4 MWp	101.5%
		Base – 4 MWp	100.2%
		Base	100.0% <i>óptimo</i>
		Base + 4 MWp	100.5%

Tabla 4: Resultados. Potencia DC

GCR			
PROYECTO 1			
TRACKER	GCR	POTENCIA DC	LCOE
Tracker 1	GCR 1		100.0% <i>óptimo</i>
	GCR 2	Base	100.5%
	GCR 3		100.9%
PROYECTO 2			
TRACKER	GCR	POTENCIA DC	LCOE
Tracker 1	GCR 1		100.2%
	GCR 2	Base	100.0% <i>óptimo</i>
	GCR 3		100.3%

Tabla 5: Resultados. GCR

En esta 1ª fase del estudio, se determinó, por tanto, la **Potencia DC** y el **GCR óptimos** para ambos proyectos:

- Proyecto 1: Potencia DC Base + GCR 1
- Proyecto 2: Potencia DC Base + GCR 2

⁵ El LCOE se da referenciado al mínimo valor de cada Proyecto y dentro de cada tabla

A continuación, se analizaron los **2 trackers restantes** para la Potencia DC y GCR óptimos. Los **resultados** se presentan en la siguiente tabla:

Tracker						
PROYECTO 1						
TRACKER	GCR	POTENCIA DC	LCOE ⁶		MdT, miles de m ³	MdT ⁷
Tracker 1	GCR 1	Base	104.7%		267	100%
Tracker 2			102.6%		375	140%
Tracker 3			102.6%		483	181%
Tracker 4			100.0%	óptimo	68	26%
PROYECTO 2						
TRACKER	GCR	POTENCIA DC	LCOE		MdT, miles de m ³	MdT
Tracker 1	GCR 2	Base	106.0%		373	100%
Tracker 2			104.9%		352	94%
Tracker 3			103.8%		635	170%
Tracker 4			100.0%	óptimo	221	59%

Tabla 6: Resultados. Trackers

Se observa que **el Tracker 4 es el que lleva a un mejor LCOE y, a su vez, a un menor MdT** en ambos proyectos.

En cada caso de la Tabla 6, para calcular la producción eléctrica anual se consideró el terreno 3D (real) y *Backtracking* 2D. También se calculó el impacto de utilizar el *Backtracking* 3D de ORUGA®. Los resultados se muestran a continuación para los trackers 3 y 4:

PRODUCCIÓN ELÉCTRICA ANUAL						
CASO	TERRENO	BACKTRACKING	PRODUCCIÓN ANUAL ⁸			
			PROYECTO 1		PROYECTO 2	
			Tracker 3	Tracker 4	Tracker 3	Tracker 4
A	Plano		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
		2D				
B	3D		96.9%	97.1%	96.6%	96.5%
C	3D	3D	98.3%	97.4%	98.2%	96.9%

Tabla 7: Resultados del estudio. Producción Eléctrica Anual

Se puede ver en la Tabla 7 cómo **la influencia del terreno es similar en ambos proyectos y para ambos trackers** (Caso B vs Caso A), si bien **la aplicación de *Backtracking* 3D no produce la misma mejora en los dos trackers** (Caso C vs Caso B).

Esto último es un fenómeno habitual: **la tipología del tracker influye de manera decisiva en la recuperación de producción que aporta el *Backtracking* 3D**. Cuantos más grados de libertad tenga el tracker, mayor será esta. No es lo mismo un tracker monofila que un bifila o uno formado por mesas N-S o un multifila, puesto que cada uno de ellos tiene una capacidad muy distinta para regular las sombras entre filas mediante el movimiento.

⁶ El LCOE se da referenciado al mínimo valor de cada Proyecto y dentro de cada tabla

⁷ El MdT se da referenciado al 1er caso (tracker 1) de cada Proyecto

⁸ La Producción se da referenciada al Caso A (Terreno Plano + *Backtracking* Plano) dentro de cada Proyecto

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 trazo 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

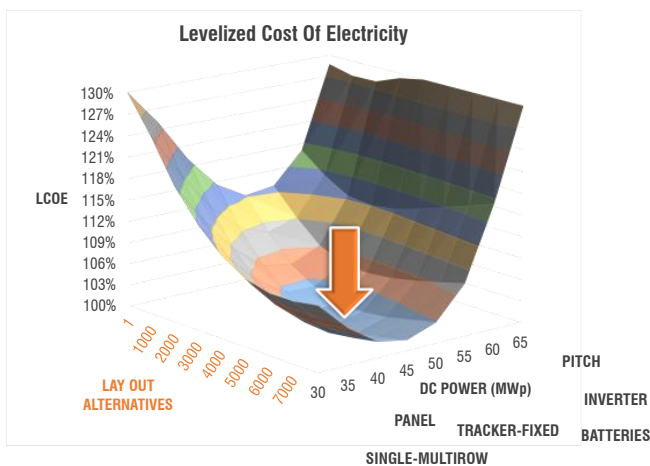


Fig. 14: Optimización 3D del Diseño de planta para minimizar el LCOE en terrenos de orografía complicada

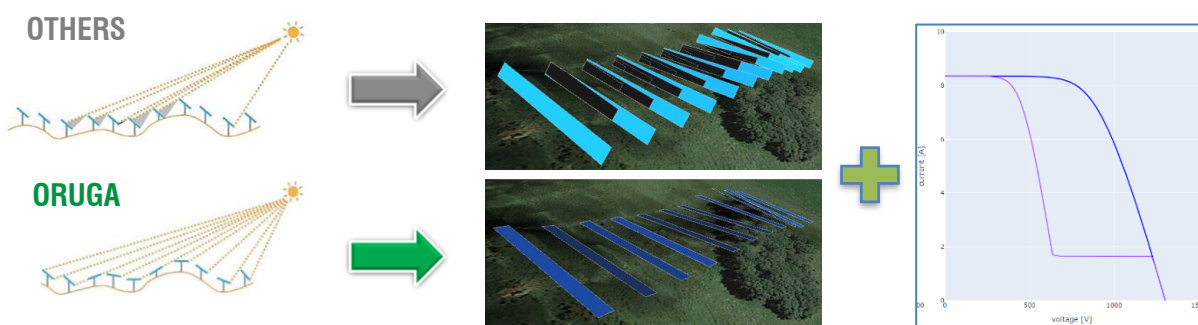


Fig. 15: Algoritmo de *Backtracking* 3D para incrementar la producción eléctrica y la durabilidad de los módulos + Implementación precisa de las Curvas I-V



Fig. 16: 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	ATA RENEWABLES	225				
4	dic-20	ENFINITY	116				
5	abr-21	ESPARITY SOLAR	120				
6	may-21	FCC INDUSTRIAL	50				
7	jun-21	GALP	15				
8	jul-21	IGNIS	70				
9	ago-21	IMASA	30				
10	ago-21	NEOEN	55				
11	sep-21	NEOEN	100				
12	oct-21	NEOEN	50				
13	ene-22	NEOEN ECUADOR	40				
14	feb-22	NEXTERA	72				
15	feb-22	OHL INDUSTRIAL	72				
16	feb-22	QAIR	270				
17	mar-22	Q-ENERGY	40				
18	jul-22	VINCI ENERGIES	400				
19	sep-22	X-ELIO	166				
20	sep-22	X-ELIO	16				
21	oct-22	X-ELIO	528				
			2825				

Tabla 8: 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