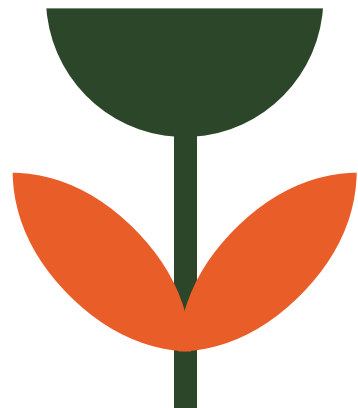




La agrivoltaica vertical. Nuevos retos con dos caras.

Miguel Ángel Muñoz García^{*1,2}

Raúl Sánchez Calvo¹; Luis Juana Sirgado¹; Delia Rodríguez Lucas²

1.- E.T.S.I. Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas, Universidad Politécnica de Madrid

Grupo de investigación: LPF-Tagralia, miguelangel.munoz@upm.es

2.-Eki.labs Corp.



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS



Situación de agrovoltaica: Avances y barreras. Casos prácticos.

Martes 3 de Diciembre de 13:00 a 15:00 en la Sala AiguesTortes (N107)



1. - La Agrivoltaica. ¿Definida o desconocida?

2. - Tipologías de instalación agrivoltaica

3. - Experiencias con Iberdrola

4. - Experiencias con Ekilabs

5. - Proyecto del Plan Estatal

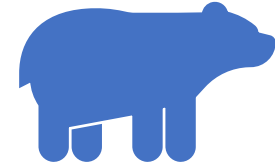
6. - Agradecimientos



Idea



Experiencia



Madurez

La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica. (Aristóteles 384-322 a.C.)

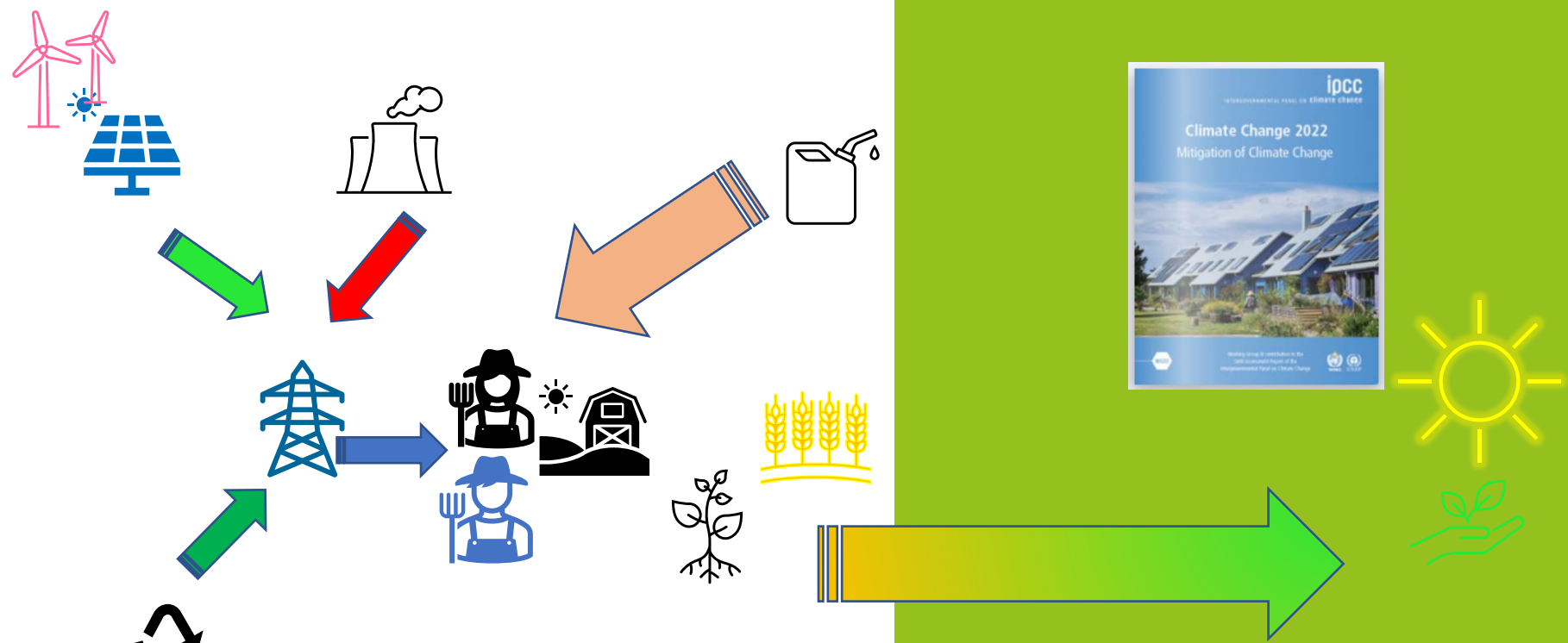




01

La Agrivoltaica. ¿Definida o Desconocida?





NZE-Net Zero Emissions
By 2050 (IEA)



<https://www.dsisolar.com/info/agrivoltaics-to-shade-cows-89144393.html>

CIENCIA | INSECTOS

Las placas solares también pueden convertirse en un refugio para las abejas

Un estudio llevado a cabo por investigadores estadounidenses valora la posibilidad de construir un hábitat para insectos en instalaciones fotovoltaicas.

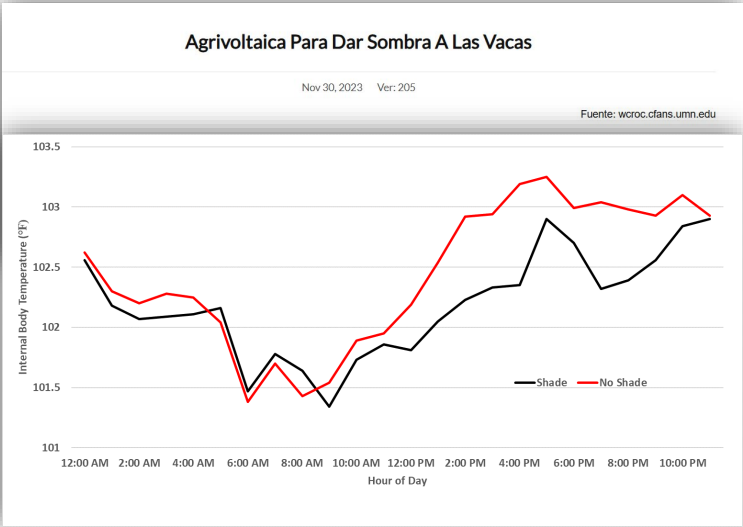


Eva van den Berg
PERIODISTA ESPECIALIZADA EN CIENCIA Y NATURALEZA

https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/placas-solares-tambien-pueden-convertirse-refugio-para-abejas_13808



<https://www.endesa.com/en/the-e-face/biodiversity/combining-solar-energy-and-agriculture-challenge-agrivoltaics>



18 November 2024

Agrivoltaics, the challenge of combining solar energy and agriculture is now a reality

Agrivoltaics: This concept that unifies solar energy and agriculture aims to use much of the land occupied by a photovoltaic plant for agricultural use, to preserve biodiversity and create shared value with local communities.

By Jesús Gil Soto



02

Tipologías de instalación agrivoltaica



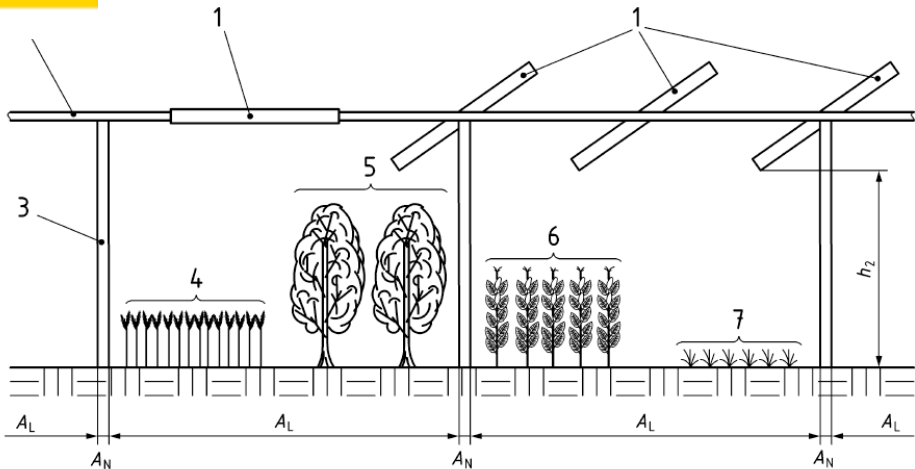


Primera idea: Elevarse

- Ventajas: mayor versitildad
- Desventajas: mayor coste



DIN SPEC 91434:2021-05



Leyenda

- A_L superficie aprovechable para la agricultura
- A_N superficie no aprovechable para la agricultura
- h_2 altura libre por encima de 2,10 m
- 1 ejemplos de módulos solares
- 2 refuerzo
- 3 soporte de elevación
- 4 a 7 ejemplos de cultivos agrícolas

Figura 1 — Presentación de la categoría I



- Subprograma 1.2: Agrivoltaica con estructura sobre cultivo $2m \leq h \leq 4 m$.

En este caso la estructura o soporte de generación fotovoltaica se encuentra elevado con una altura libre de hasta 4 metros y siempre y cuando la altura de la misma sea no inferior a 2 metros para permitir el paso del personal y la explotación del cultivo se realice bajo la instalación fotovoltaica.

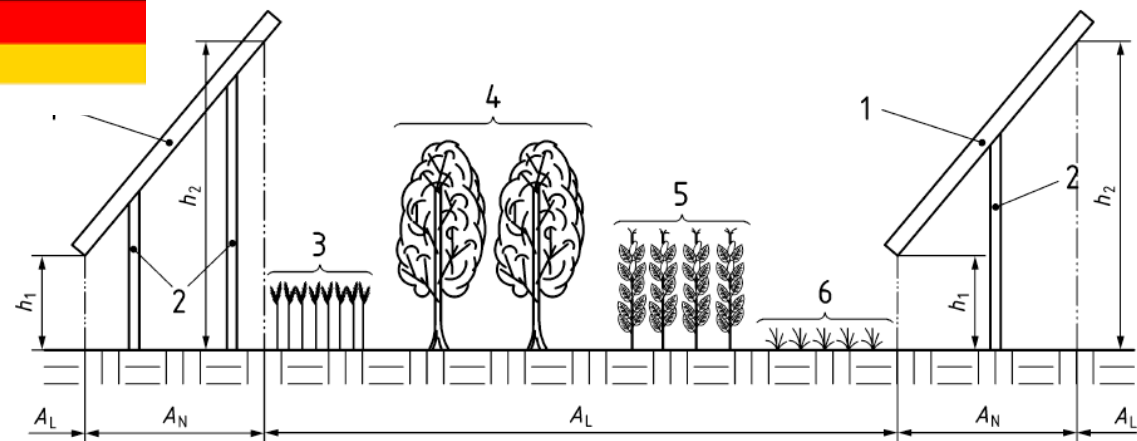
- Subprograma 1.3: Agrivoltaica con estructura sobre cultivo superior $h > 4 m$.

En este caso la estructura o soporte de generación fotovoltaica se encuentra elevado con una altura libre superior a 4 metros y la explotación del cultivo se realice bajo la instalación fotovoltaica y se permita la explotación del mismo.



Segunda idea: cultivar con lo ya existente.

- Ventajas: experiencia acumulada
- Desventajas: pérdida de espacio



DIN SPEC 91434:2021-05



– Subprograma 1.1: Agrivoltaica intercalada con el cultivo.

En este caso la estructura o soporte de generación fotovoltaica se encuentra cerca del nivel de suelo y la explotación del cultivo se realiza entre las filas de la instalación agrivoltaica garantizando que siempre existirá alternativamente fila de cultivo y de generación fotovoltaica.

BOE 25-JUL-2024

Leyenda

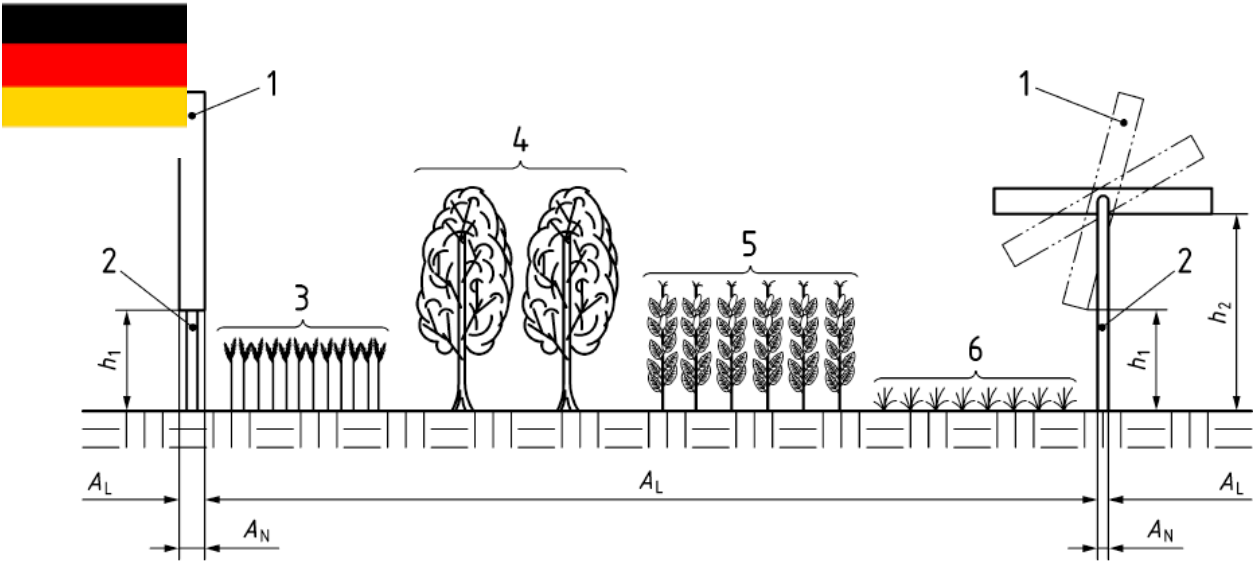
- A_L superficie aprovechable para la agricultura
- A_N superficie no aprovechable para la agricultura
- h_1 altura libre por debajo de 2,10 m
- h_2 altura libre por encima de 2,10 m
- 1 ejemplos de módulos solares
- 2 soporte de elevación
- 3 a 6 ejemplos de cultivos agrícolas

Figura 3 — Presentación de la categoría II, variante 1



Tercera idea: mínima interferencia

- Ventajas: mínimo espacio ocupado
- Desventajas: complejidad y coste



- Leyenda**
- A_L superficie aprovechable para la agricultura
 - A_N superficie no aprovechable para la agricultura
 - h_1 altura libre por debajo de 2,10 m
 - h_2 altura libre por encima de 2,10 m
 - 1 ejemplos de módulos solares
 - 2 soporte de elevación;
 - 3 a 6 ejemplos de cultivos agrícolas

Figura 4 — Presentación de la categoría II, variante 2



BOE BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO

Núm. 179 Jueves 25 de julio de 2024 Sec. III. Pág. 95441

III. OTRAS DISPOSICIONES

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

15413 Orden TED/765/2024, de 22 de julio, por la que se establecen las bases reguladoras para la concesión de ayudas a la inversión en proyectos innovadores de energías renovables y almacenamiento, así como a la implantación de sistemas térmicos renovables (Programa de energías renovables innovadoras), en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia, financiado por la Unión Europea-Next Generation EU.

– Subprograma 1.1: Agrivoltaica intercalada con el cultivo.

En este caso la estructura o soporte de generación fotovoltaica se encuentra cerca del nivel de suelo y la explotación del cultivo se realiza entre las filas de la instalación agrivoltaica garantizando que siempre existirá alternativamente fila de cultivo y de generación fotovoltaica.

BOE 25-JUL-2024



Agrivoltaica en el aspecto legal

Programa 1. Proyectos innovadores de instalaciones agrivoltaicas con almacenamiento.

A efectos de esta orden, se considera agrivoltaica a aquellos proyectos en los que se realice, sobre la misma superficie de terreno originalmente destinado a uso agrícola, un uso combinado para la producción agrícola y la generación de energía fotovoltaica, siempre que se priorice el uso agrícola como uso principal, y la producción de energía tenga un fin secundario. No se considera agrivoltaica a efectos de esta orden, la concentración de paneles solares sin cultivo en una parte de la parcela y el uso exclusivamente agrícola del resto, aunque se cumplan globalmente los requisitos técnicos exigidos para este programa.

Este programa se dividirá en tres subprogramas dependiendo de cómo se encuentre situada la estructura de generación fotovoltaica respecto al cultivo.

d) La proyección sobre el terreno de la instalación fotovoltaica deberá ser inferior al 40 % de la superficie total del proyecto. Este requisito podría flexibilizarse hasta un 80 % en el caso de instalaciones fotovoltaicas que utilicen paneles fotovoltaicos con una transparencia igual o superior al 25 % y se sitúen en estructuras por encima del cultivo.

Esta proyección se mide a partir de la proyección superior en la posición fija de los paneles fotovoltaicos y en la misma proyección cuando los paneles FV se encuentran en posición horizontal en instalaciones con seguimiento.

e) La pérdida de superficie utilizable para la agricultura debida a las estructuras y subestructuras de la instalación fotovoltaica no superará el 10 % de la superficie total del proyecto agrivoltaico.

f) En la superficie del proyecto utilizable para la agricultura se garantizará que se puedan llevar a cabo las correspondientes labores agrícolas.

BOE 25-JUL-2024



03

Experiencias con Iberdrola





TITULO DEL PROYECTO: Diseño de un sistema innovador de recogida, tratamiento y pulverización de agua de lluvia para una planta fotovoltaica en una granja de vacas lecheras.

ORGANISMO FINANCIADOR: IBERDROLA

DURACIÓN: 6 meses

FECHA DE INICIO: 18/06/2021

REFERENCIA: FPA210000IA1806

Objetivos:

- Determinar la viabilidad del aprovechamiento de sistemas fotovoltaicos como método para sombreado y refrigeración de ganado
- Calcular aspectos relacionados con capacidad de almacenamiento de agua y electricidad

Resultados:

- Construcción de un piloto en Francia
- Demostración de viabilidad del uso de la idea



Collares inteligentes para las vacas, nebulizadores a modo de aire acondicionado, placas solares que "recogen" agua de lluvia

Jueves, 02 de febrero de 2023

<https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/collares-inteligentes-para-las-vacas-nebulizadores-a-20230202>

Son algunas de las soluciones que van a ser implementadas en cuatro parques solares franceses que se ha adjudicado Iberdrola en el marco de una licitación pública de innovación en energías renovables lanzada por el ministerio francés de Transición Ecológica. Los cuatro proyectos "agrovoltaicos" (doce megavatios en total) enfocan toda su atención en criterios de innovación, cuidado del entorno y mejora de la agricultura y de la ganadería de los terrenos en los que se implantan, priorizando ese objetivo, mientras que la maximización de la producción de electricidad -explica Iberdrola- queda en un segundo plano.



Noticia

27.01.2023



Nos adjudicamos cuatro proyectos de innovación agrovoltaicos en Francia

transición energética

proyectos Iberdrola

Francia

energía fotovoltaica

Iberdrola Internacional

<https://www.iberdrola.com/sala-comunicacion/noticias/detalle/nos-adjudicamos-cuatro-proyectos-de-innovacion-agrovoltaicos-en-francia>

Mejorar la ganadería y la agricultura

El cambio climático causa estrés por calor tanto en el ganado como en los pastos, lo que afecta a la producción y calidad de la leche. Para combatir este problema, en el proyecto Kirch las estructuras solares se sitúan a una altura mínima de 1,5 metros para permitir que las vacas encuentren refugio debajo de los paneles fotovoltaicos. Además, cada placa se equipa con un sistema inteligente que permite recoger el agua de lluvia durante el periodo invernal, almacenarla



Cada proyecto demostrador ha obtenido la capacidad máxima permitida en subasta de 3 MW, lo que supone una capacidad total de 12 MW

Comprometidos



Cuida del medio ambiente.
Imprime en blanco y negro sólo si es necesario.



04

Experiencias con Ekilabs





Origins

Born between Harvard and MIT. A collaborative approach from the start.

Our roots run deep in Spanish farmlands, and our growth extends to the academic hub of Boston: We were born in Cambridge, MA, with the invaluable support of Harvard and MIT.

We are a diverse team of hard-working and dedicated individuals united by a shared passion: tackling climate change in an equitable manner. We're not just about clean energy, we champion sustainable agriculture.



<https://www.ekiagrivoltaics.com/>

Spin-off salida del centro académico de Boston: nacimos en Cambridge, MA, con el apoyo invaluable de Harvard y MIT.

MISION: abordar el cambio climático de manera equitativa. Sin limitarse a la energía limpia, sino también la defensa de la agricultura sostenible.

FPA230000IA2112

PROYECTO AGRIVOLTAICO EN ZAMORA

Alias EKI LABS

Fecha de Firma 21/12/2023

Director MIGUEL ANGEL MUÑOZ GARCIA

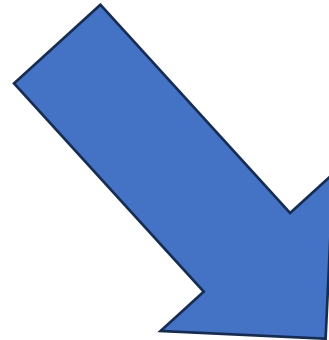


Objetivos:

- Determinar la viabilidad del uso de sistemas fotovoltaicos bifaciales en vertical, como mejor medio de uso dual del terreno agrícola
- Calcular aspectos relacionados con producción y configuración

Resultados:

- En proceso



Hipótesis:

- La temperatura el panel mejora en vertical
- La radiación incidente es similar a la obtenida en plano inclinado
- El espacio ocupado es mínimo
- Se mejora el impacto del viento sobre el cultivo
- Se crea un microclima beneficioso para el cultivo

X.com

MIT CLIMATE & ENERGY PRIZE 2024 London Semi Finalist

Ekidos Agrivoltaics Madrid, Spain

Energy
Food & Land Use

Delia Rodríguez Lucas, delia@ekilabs.com

Team:

- Delia Rodríguez Lucas, CEO
- Nina Elbock, Finance
- Les Armstrong, Technology
- Andres Olivares, Operations

MIT Stanford University

Milestones:

- Business Concept
- Prototype/MVP Built
- Company Incorporated
- First External Users/Plot
- First Paying Client(s)
- Funding Raised

Vertical Photovoltaic Panels For Agriculture

THE PROBLEM
If you had one hectare of land, would you use it for solar energy or agriculture? The fundamental constraint to scale both is LAND, and the growing tension between them is derailing the transition to renewable energy. In fact, some of the largest solar plants in Europe are being stopped because of conflict with farmers, and this is happening all over the world.

THE SOLUTION
We merge agriculture and solar energy by scaling innovative vertical photovoltaic panels and sharing our revenue with farmers. We unlock millions of acres for clean energy, support our food supply chain, and support rural communities – while generating 10x revenue per hectare.

VALUE PROPOSITION

- Configuration: Standard solar panels are horizontal, and consequently require vast areas of land. In contrast, our solution consists of vertical bifacial panels, which require minimal space – allowing farmers to keep harvesting their lands.
- Production: Horizontal solar configurations produce mostly at noon – in contrast, our innovative configuration of vertical East-West orientated panels allows us to maximize electricity production in the morning and evening – prime times in energy markets.
- Versatility: we accommodate the growth of crops that other agrivoltaic structures cannot handle, crops that thrive in abundant sunlight and require heavy machinery.

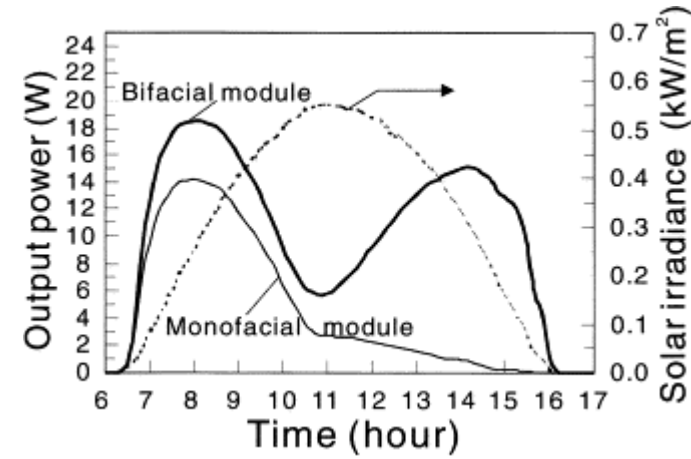
MIT Climate and Energy Prize on X: "MIT CEP 2024 London Semi ...

Visitar >

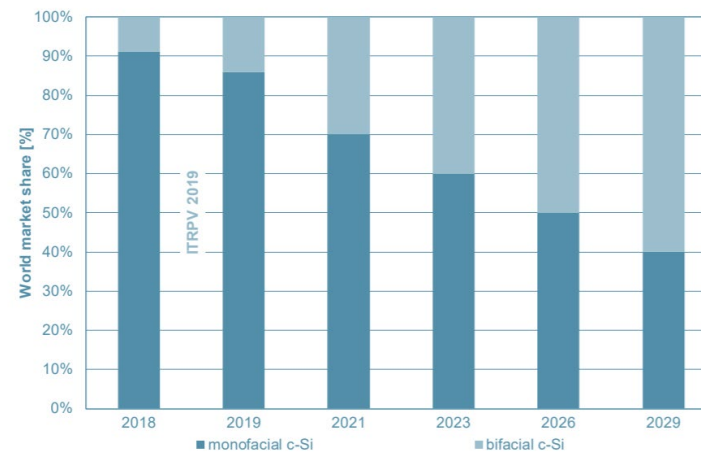


Hoy en día, los sistemas bifaciales crecen más que los tradicionales. Su rendimiento supera al sobrecoste.

El concepto bifacial no es algo nuevo. Sin embargo, ha sido su precio lo que los ha hecho despegar.



[Solar Energy Materials and Solar Cells Volume 75, Issues 3–4](#), 1 February 2003, Pages 557-566



Source: IRTV Maturity Report 2019



La verticalidad es compatible con cultivos de secano, de hasta 1m de altura aprox.

- Mínimas sombras
- Permite el laboreo más fácilmente.

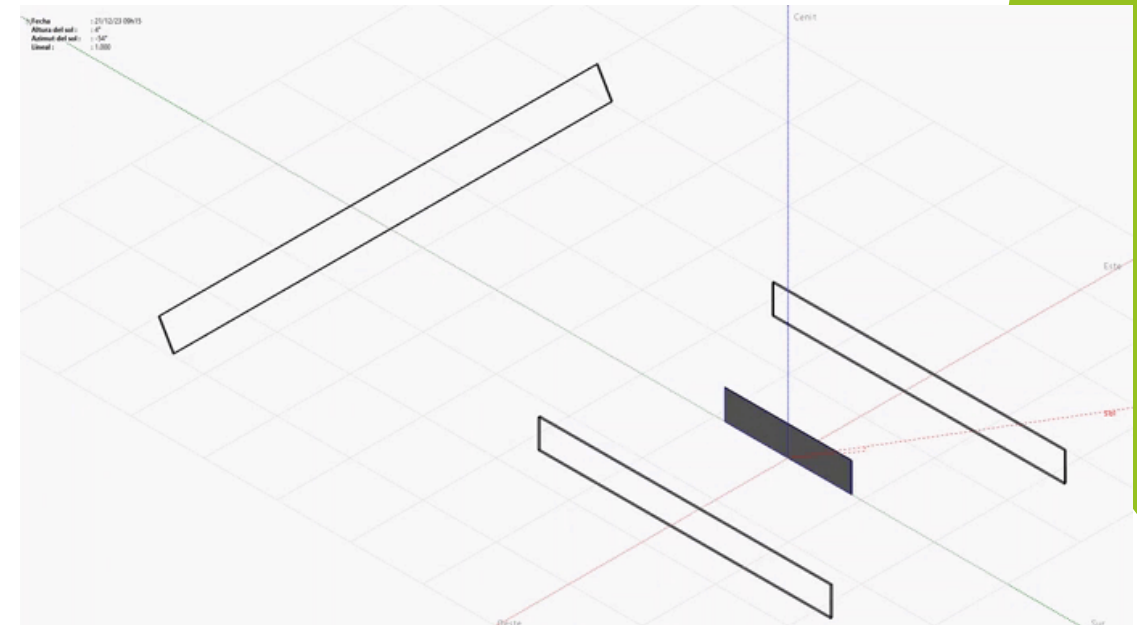


<https://www.ekiagrivoltaics.com/>

Distintas configuraciones de espaciado permiten distinto tipo de laboreo.

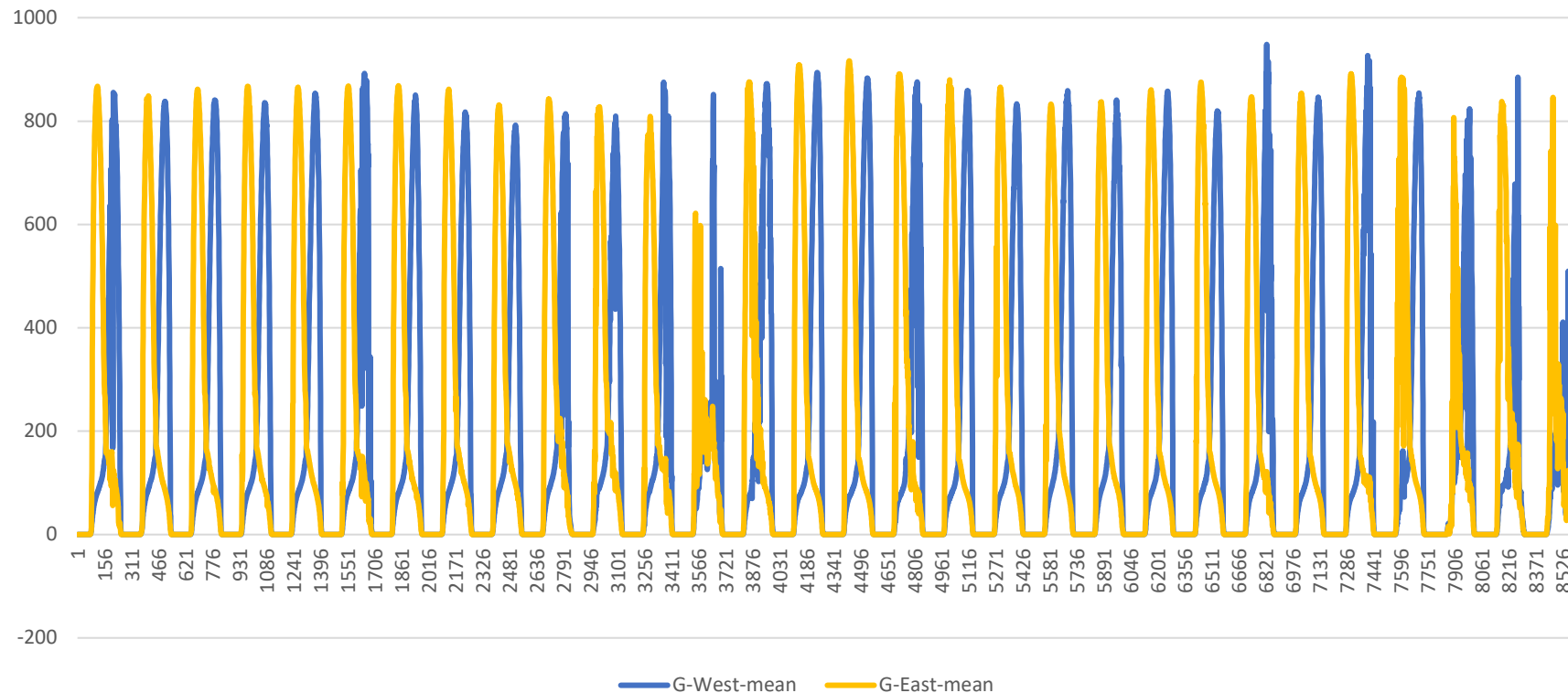


Las sombras entre filas son objeto de estudio y mejora





Radiación bifacial



Resultados previos:

- Se detecta que la producción en sistemas bifaciales es incluso superior a las simulaciones
- Se sospecha que el efecto de la refrigeración en vertical tiene que ver con lo anterior

Próximos pasos:

- Completar análisis de producción e índices PR bifaciales.
- Confirmar tendencias:
 - Producción vertical anual similar a inclinada
 - Superior en estacional



05

Proyecto Plan Estatal



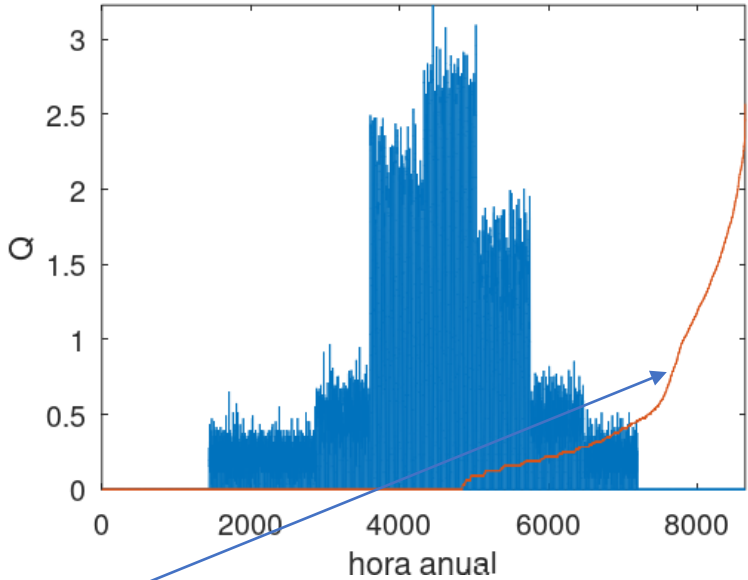
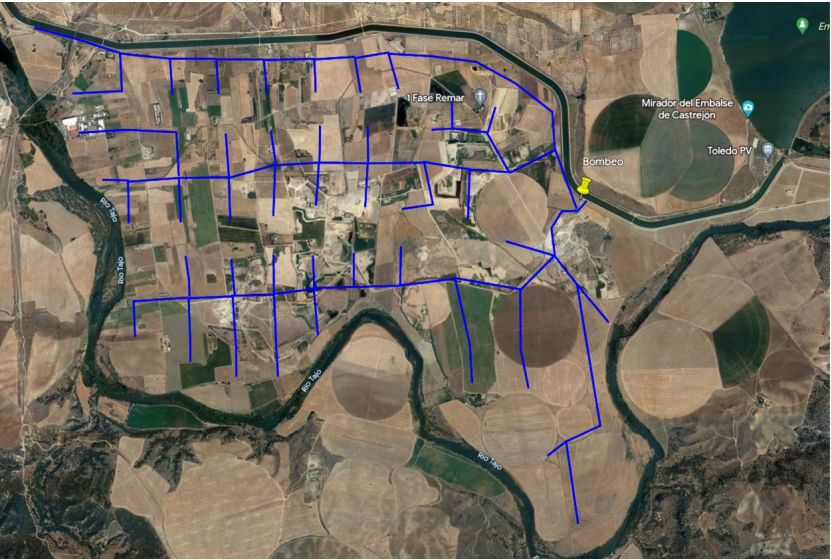


Riego a presión

Los riegos a presión (goteo y aspersión) reciben agua a través de **una red de distribución colectiva**. Un **único bombeo** en cabeza de la red proporciona la presión necesaria para el riego. Hasta la **estación de bombeo hay línea eléctrica**, mientras que en el interior de la zona regable no la hay.

La demanda de riego suele concentrarse en los meses de Jn, Jl y Ag. Hay excepciones, como el sureste de la península, donde la producción en invierno tiene mayor interés.

Mes	E	F	Mr	Ab	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
Nec. riego (mm/día)	0	0	0.074	0.48	2.04	5.64	6.54	4.20	1.35	0.02	0	0



Percentil		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Media	Horas
Caudal (L/s)	GL=2	31.6	126.5	158.1	216.9	253.0	343.4	438.3	597.8	1059.6	1471.4	2505.5	575	3804



Proyecto1, Coordinador: Improvement in the energy efficiency of pressurized irrigation distribution networks through booster pumping in hydrants made feasible with solar photovoltaic power generation (TRICERATOPSES).

Ayuda PID2023-147841OB-C21 financiada por:



Proyecto2, Coordinado: Use of emerging photovoltaic technologies for booster pumping in hydrants adapted to the crop water requirements and the characteristics of the distribution. (EmerPVpump).

Ayuda PID2023-147841OB-C22 financiada por:



- OE1: Diseño de una planta para riego con tecnología bifacial y orientación vertical y en V.
- OE2: Metodología para calcular la relación entre la presión en el nudo de inicio de la red de distribución.
- OE3: Estimación de la generación de energía fotovoltaica intradía para dos configuraciones diferentes.
- OE4: Caracterizar la dinámica del bombeo del booster.
- OE5: Establecer los criterios de diseño de una planta solar fotovoltaica teniendo en cuenta las particularidades del bombeo booster desde un hidrante.
- OE6: Cuantificar las fracciones de las fuentes y destinos de energía en la red de distribución que son reperkusivas para cada hidrante.
- OE7: Proponer un procedimiento de gestión de las unidades de riego de la finca.
- OE8: Minimizar la ocupación de tierras agrícolas por la planta de generación de energía solar fotovoltaica

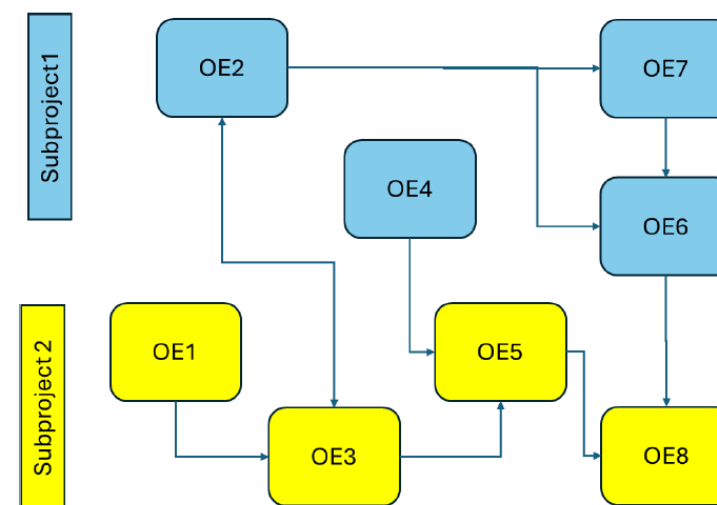


Figure 5. Relationship between the specific objectives OE.



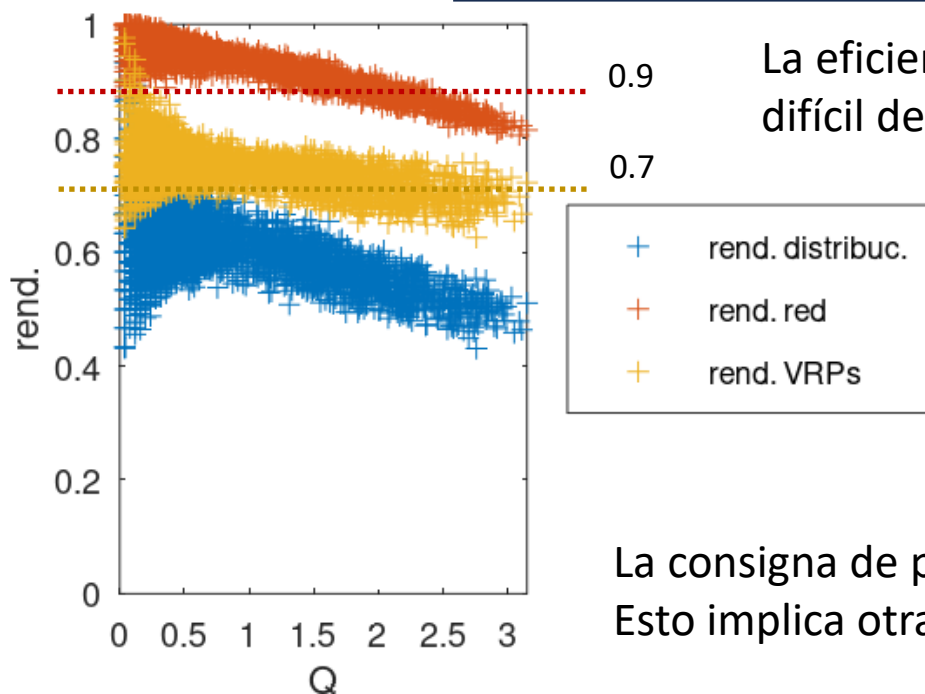
Subproyecto Viabilidad técnica de la distribución del agua de riego a baja presión y rebombeo en hidrantes.
IP1:Raúl Sánchez Calvo; IP2: Luís Juana Sirgado

Objetivos:

- Objetivo 2. **Curvas caudal-presión óptimas en hidrantes y bombeo** en cabeza de la red según nivel de garantía de suministro. Coordinador Luis Juana.
- Objetivo 4. **Caracterización de rebombes con alimentación fotovoltaica** y análisis del **régimen variable** en la red por parada simultánea de varios rebombes. Coordinador Raúl Sánchez.
- Objetivo 6. Análisis de **relaciones riesgo-coste en el suministro fotovoltaico** para el rebombeo, análisis de los **orígenes y destinos de la energía y reparto justo de los costes** asociados. Coordinador Sergio Zubelzu.
- Objetivo 7. **Gestión de las unidades de riego a presión ante variación de la relación presión-caudal en el hidrante con interrupciones en el suministro energético.**



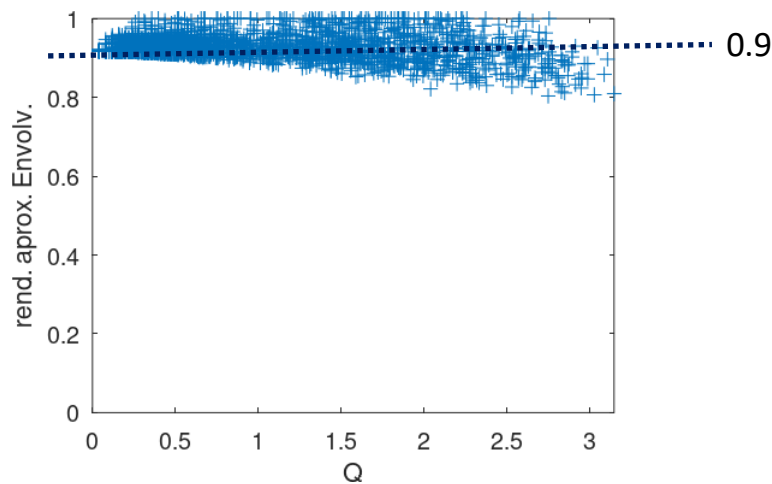
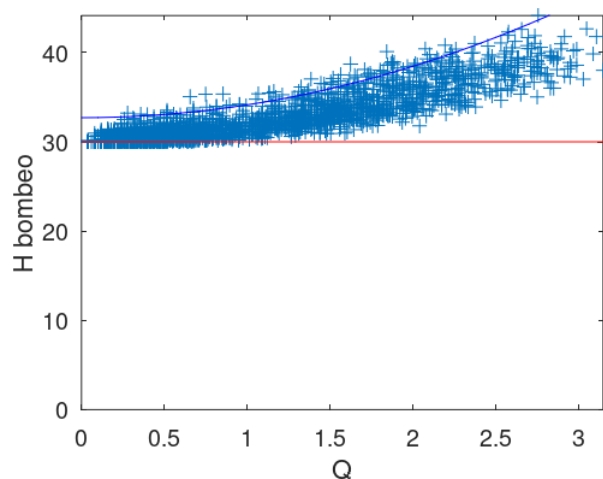
Red de distribución (concepción actual). Eficiencia en su máxima técnico.



La eficiencia en la red de distribución, a pesar de que es relativamente baja, es difícil de mejorar.

La regulación de la presión en los hidrantes es indispensable para la eficiencia de riego. Es necesaria porque la demanda de agua de riego presenta una elevada variabilidad intraanual. La disipación de energía de la regulación de presión implica una eficiencia energética baja.

La consigna de presión en el bombeo se establezca con un nivel de garantía (p. ej. 0.98). Esto implica otra eficiencia, adicional a la de los propios grupos motor-bomba.





Subproyecto : Use of emerging photovoltaic technologies for booster pumping in hydrants adapted to the crop water requirements and the characteristics of the distribution. (EmerPVpump)

IP: Miguel Á. Muñoz García

Objetivos:

- Objetivo 1: **Diseño** de una planta para riego con tecnología **bifacial y orientación vertical y en V**.
- Objetivo 3: **Estimación** de la generación de energía fotovoltaica **intradía** para dos configuraciones diferentes.
- Objetivo 5: Establecer los **criterios de diseño** de una planta solar fotovoltaica teniendo en cuenta las particularidades del **bombeo booster** desde un hidrante.
- Objetivo 8: **Minimizar la ocupación de tierras agrícolas** por la planta de generación de energía solar fotovoltaica

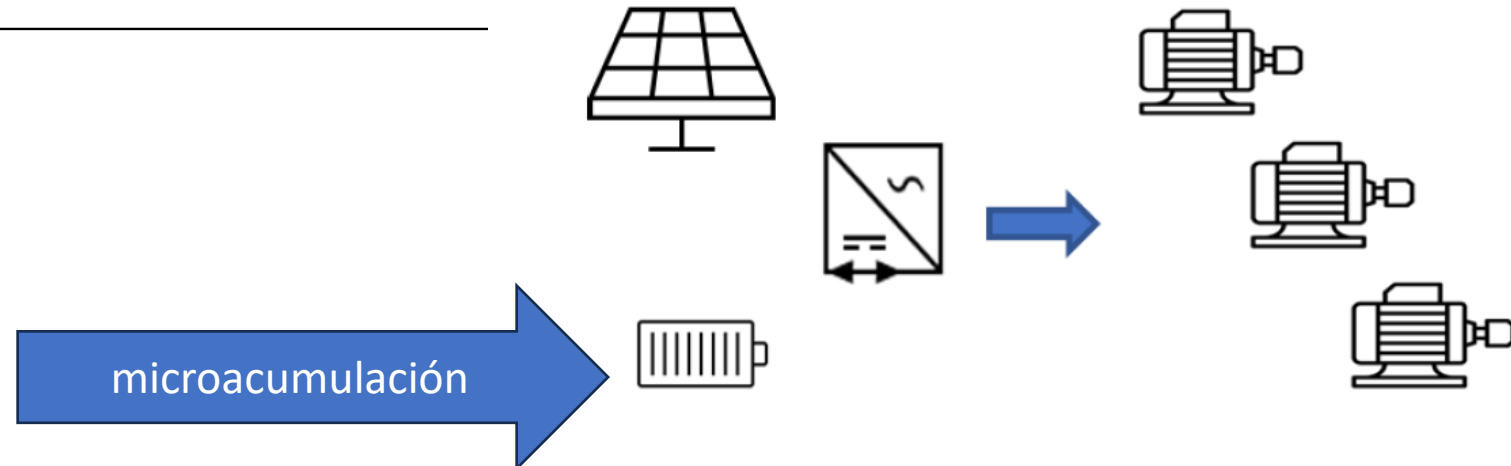
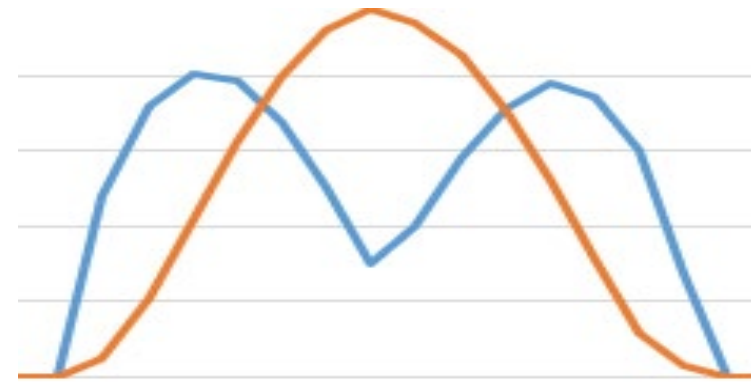
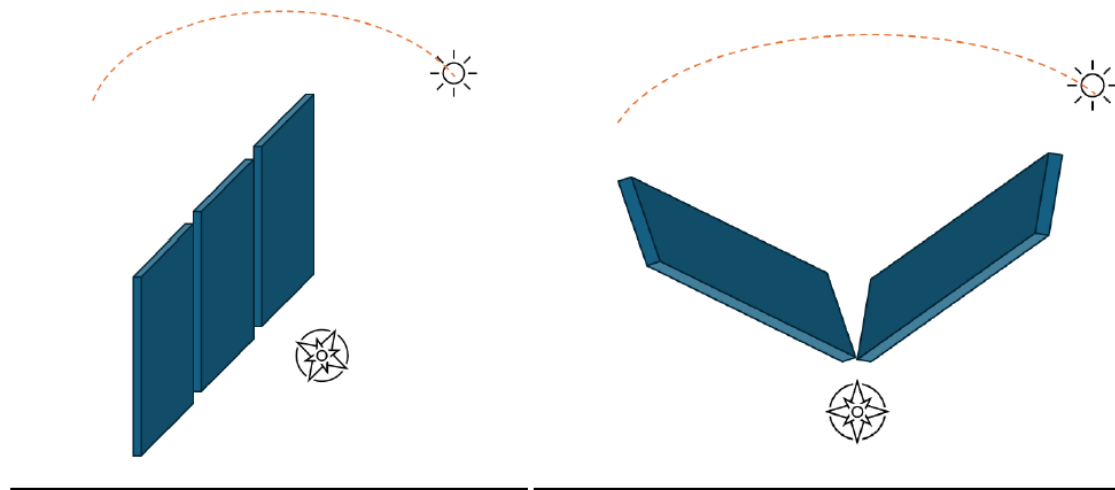


Construcción de piloto demostrativo en campo: Campos de Experimentación ETSIAgronómica, Alimentaria y de Biosistemas. Universidad Politécnica de Madrid.

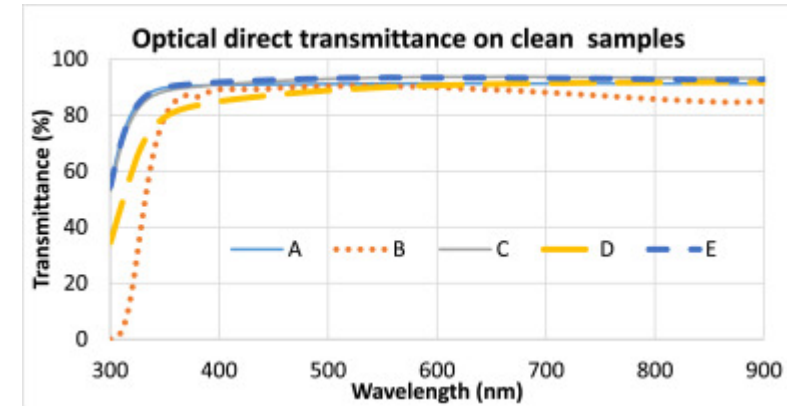
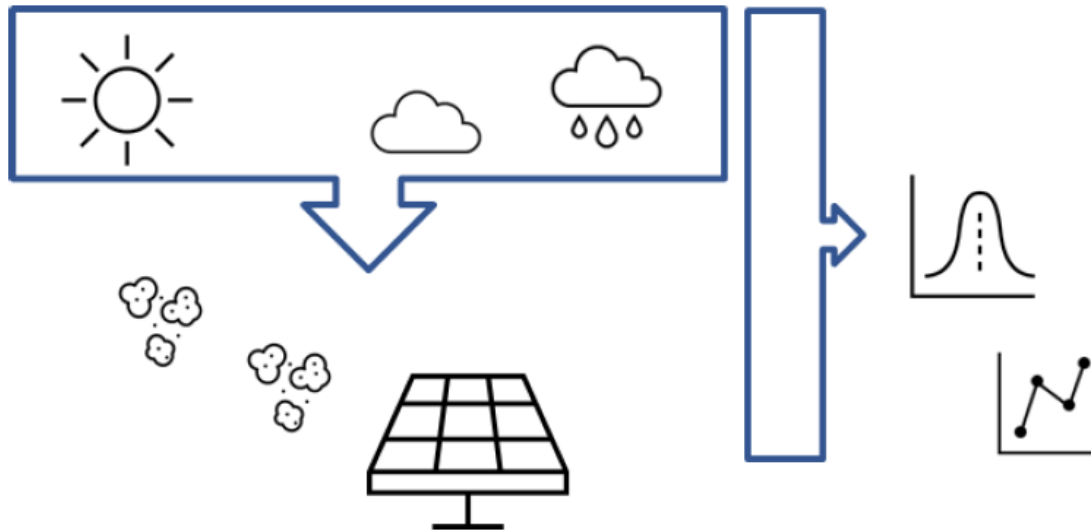




- **Dimensionado**
- **Medición**
- **Adaptación a necesidades**



- Ensayos de Soling
- Efectos espectrales



Analysis of the soiling effect under different conditions on different photovoltaic glasses and cells using an indoor soiling chamber [Renewable Energy Volume 163, January 2021, Pages 1560-1568](#)

$$I_{sc-loss}(\lambda_1 - \lambda_2) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Td(\lambda) * SR(\lambda) * G(\lambda) d\lambda$$



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS



¡Gracias! 

miguelangel.munoz@upm.es

Miguel Á. Muñoz García
Raúl Sánchez Calvo
Luis Juana Sirgado
Delia Rodríguez Lucas



POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

