



# DOSSIER DEL PROFESORADO: APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS

MÓDULO 3

RESULTADO  
INTELLECTUAL 2

2020-1-ES01-  
KA202-082440



With the support of the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

*El proyecto Energy4Farming está cofinanciado por el programa Erasmus+ de la Unión Europea. El contenido de este documento es responsabilidad exclusiva de las organizaciones autoras y ni la Comisión Europea, ni el Servicio Español para la Internacionalización de la Educación (SEPIE) son responsables del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.*

Authors:

Area Europa srl

Eszterhazy Karoly Egyetem

Federación EFAS CV la Malvesía

Fundación de la Comunitat Valenciana para una economía baja en carbón

Jävarmaa Kutsehariduskeskus

Stowarzyszenie Edukacji Rolniczej i Lesnje EUROPEA Polska

2022



lowcarbon  
economy®

AREA EUROPA  
DEVELOPMENT CONSULTING

EFA LA MALVESIA  
CENTRO EDUCATIVO Y DE PROMOCIÓN RURAL

EGER 1774  
ESZTERHÁZY KÁROLY EGYETEM

Jävarmaa  
Kutsehariduskeskus  
GÕTTARDE OÜ KUTSEKESKUS

EUROPEA  
POLSKA

<b>OBJETIVOS DE ESTE MÓDULO</b> .....	<b>1</b>
<b>PROTOTIPOS DE PROYECTOS PRÁCTICOS EN EL AULA</b> .....	<b>2</b>
TERMOSIFÓN.....	2
<i>Descripción</i> .....	2
<i>Objetivos pedagógicos</i> .....	2
<i>Materiales necesarios</i> .....	2
<i>Herramientas necesarias</i> .....	3
<i>Construcción paso a paso</i> .....	3
<i>¿Cómo funciona?</i> .....	6
<i>Material audiovisual</i> .....	6
ESTACIÓN DE TEMPERATURA Y HUMEDAD.....	7
<i>Descripción</i> .....	7
<i>Objetivos pedagógicos</i> .....	7
<i>Materiales necesarios</i> .....	7
<i>Cálculos</i> .....	7
<i>Cálculos paso a paso (con imágenes)</i> .....	11
<i>Material audiovisual</i> .....	15
<b>PROTOTIPOS EXPERIMENTALES</b> .....	<b>16</b>
INTRODUCCIÓN: LOS INVERNADEROS, UNA DE LAS FORMAS MÁS SENCILLAS DE UTILIZAR LA ENERGÍA SOLAR .....	16
<i>Funcionamiento de los invernaderos</i> .....	16
<i>¿Porque usamos los invernaderos?</i> .....	16
<i>Materiales de los invernaderos</i> .....	16
<i>Tipos y formas de invernaderos</i> .....	17
<i>Túneles de cultivo estilo chino</i> .....	17
<i>Túnel invernadero</i> .....	19
<i>Domos de cultivo</i> .....	20
<i>Beneficios de uso</i> .....	22
PROTOTIPO EXPERIMENTAL: TIENDAS LAMINADAS .....	22
<i>Materiales</i> .....	25
INVESTIGACIÓN DE COMO INSTALAR SISTEMAS HÍBRIDOS (SOLAR – EÓLICO).....	27
<i>Pasos para la instalación de sistemas de producción de energía solar</i> .....	27
<i>Evaluación del potencial solar</i> .....	28
<i>Estudio de las condiciones y dotaciones locales</i> .....	29
<i>Usando la aplicación para la correcta orientación de las placas Solares</i> .....	30
<i>Eficiencia de los paneles solares</i> .....	31
<i>¿Qué condiciones afectan al rendimiento de una instalación solar fotovoltaica?</i> .....	31
<i>Factores que influyen en el rendimiento de los paneles solares</i> .....	32
<i>¿Cómo podemos tener todos estos factores en consideración?</i> .....	32
<i>Condiciones para la energía eólica</i> .....	32
<i>Evaluación del potencial eólico</i> .....	33
<i>Factores que reducen la eficacia del uso de la energía eólica</i> .....	35
<i>Instalación de sistemas híbridos (solar + eólica)</i> .....	35
<b>ANEXO</b> .....	<b>42</b>
GLOSARIO .....	42
ABREVIACIONES .....	42
REFERENCIAS, SITIOS WEB DE UTILIDAD .....	42

## **Objetivos de este módulo**

En las siguientes líneas se presentan varios prototipos prácticos de herramientas útiles para el sector agrícola que trabajan con energías renovables. En este sentido, los prototipos están hechos para proyectos a pequeña escala que pueden ser implementados en los cursos de agricultura de FP. El aula puede adaptarse e incluir estos prototipos para que los alumnos trabajen individualmente o en grupo en sistemas que puedan aplicarse en el mundo real. Las diferentes opciones pueden incluirse en una o varias asignaturas, según la necesidad de los alumnos de FP.

Para mostrar cómo es posible incluir las energías renovables en la agricultura, los socios del proyecto Energy4Farming han creado 2 prototipos prácticos con energía solar y 2 prototipos experimentales en la agricultura. En las siguientes páginas encontrareis los objetivos pedagógicos de cada prototipo, pero también los pasos concretos de construcción y el material que hay que utilizar durante la creación de los modelos que se detallan a continuación.

## Prototipos de proyectos prácticos en el aula

Juan Jorro, Lucía Toledo y José Segarra

### Termosifón

#### Descripción

Un termosifón es un captador solar de agua. Normalmente, los captadores solares de agua están compuestos por una superficie que capta la radiación solar, pero también por un circuito térmico, frecuentemente formado por tubos, por el que pasa el agua. Para alcanzar una mayor temperatura, es necesario incluir una cubierta transparente que permita crear un efecto invernadero y una caja aislada. En el caso del siguiente prototipo, la circulación del agua desde el colector hasta el depósito se realiza por circulación natural aprovechando las diferentes densidades entre el agua fría y la caliente (termosifón).

El efecto termosifón se produce cuando el agua caliente sube al depósito porque tiene menos densidad que el agua fría, que desciende hacia la base del depósito. Para conseguir el efecto termosifón, es necesario colocar el depósito de agua por encima del colector solar, tal y como se describe en las siguientes páginas.

#### Objetivos pedagógicos

- Enseñar la densidad del agua
- Enseñar el efecto termosifón
- Comprender el papel de la energía solar
- Usos aplicables de la energía solar

#### Materiales necesarios

#	MATERIAL	UNIDADES
1.	Caja de poliestireno <sup>1</sup>	1 42,5x35x10 <sup>2</sup>
2.	Tubo de riego por goteo (16 mm)	1 160 cm
3.	Microtubo de riego por goteo (3 mm diámetro)	1 640 cm

<sup>1</sup> Puede ser de otro material, como la madera, pero es necesario forrarlo con un material aislante.

<sup>2</sup> Largo, ancho, alto

4.	Enlace chupete de microtubo (4 mm)	40
5.	Codo goteo [16 mm]	4 16x16
6.	Deposito de agua (garrafa)	1
7.	Pasamuro roscado ½"	2
8.	Conector de acople ½ x 16mm	2
9.	Tapón	2



Figura 1. Materiales

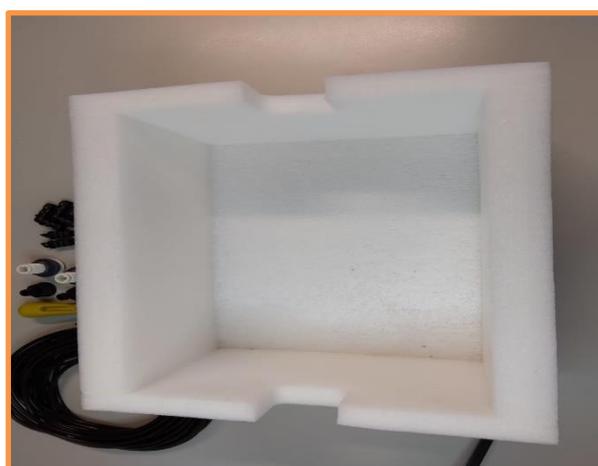


Figura 2. Caja de poliestireno

## Herramientas necesarias

1. Perforador con extractor
2. Alicates (opcional)
3. Taladro
4. Broca de pala (para crear un agujero circular)
5. Tijeras
6. Cúter
7. Adhesivo<sup>3</sup>

## Construcción paso a paso

1. Recorta la base del poliestireno expandido en caso de que sea demasiado alta<sup>4</sup>.

**CONSEJO:** La base puede ser de un color más oscuro para retener más el calor.

2. Mide la caja, para cortar los tubos según esta medida.
3. Corta los tubos de riego por goteo en dos trozos que midan unos 5 cm más que la caja.

<sup>3</sup> Puede ser pegamento, cinta adhesiva, silicona...

<sup>4</sup> Si es demasiado alto, puede crear sombras.

4. Haz un total de cuatro agujeros en los laterales de la caja. Los agujeros se utilizarán para pasar los tubos de riego por goteo.
5. Introduce los dos tubos de riego por goteo en los agujeros, esta será la tubería principal del termosifón.
6. Marca los bordes de las tuberías, según los lados de la tubería con la caja (la parte interior).
7. Mide la distancia entre las dos tuberías, de lado a lado.
8. Recorta los microtubos de riego por goteo de acuerdo con la longitud entre los dos tubos. En este caso, se recortaron un total de 20 tubos.
9. Perfora los tubos de la línea principal con la perforadora. Un total de 20 agujeros por tubo.
10. Coloca los conectores de púas en las dos partes de los microtubos de riego por goteo que se han recortado. Se necesitan un total de 40 conectores de púas para los 20 microtubos.

**CONSEJO:** Sumerge los extremos de los microtubos de riego por goteo en agua caliente para ablandar temporalmente la tubería y empujar los conectores de púas más fácilmente en ellos.

11. Inserta los enlaces de chupete desde los microtubos a la tubería principal.

**CONSEJO:** utiliza unos alicates para colocar los enlaces en los orificios de la tubería principal. Facilitará el proceso.

12. Coloca los codos de goteo en la parte exterior de la tubería principal. Se necesitan un total de cuatro codos.
13. Marca los lugares donde se crearán los agujeros en el contenedor de agua.
14. Perfora dos agujeros circulares en el contenedor de agua para colocar los pasamuros roscados.

**OPCIONAL:** en caso de que no sea posible introducir los pasamuros a través del contenedor, se puede cortar la parte superior del mismo para encajar las piezas en sus lugares.

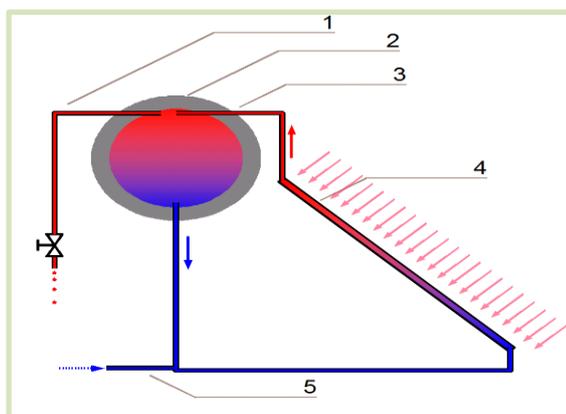
15. Coloca y atornilla los pasamuros en los agujeros del contenedor de agua.
16. Atornilla la rosca hembra en los pasamuros.
17. Coloca los conectores que irán de los codos a las roscas hembra de los pasamuros para unir el contenedor de agua con la caja.
18. Para concentrar el calor en la caja, se utiliza un cristal de polimetilmetacrilato. Colócalo y fíjalo en la caja.

**OPCIONAL:** Si el cristal no es del tamaño de la caja, será necesario hacer su tamaño a medida para adaptarlo.

19. Para tener una inclinación, será necesario crear una base de apoyo extra que eleve el contenedor de agua y la base solar.

CONSEJO: Si ha tenido que cortar la base, utilice los restos del poliestireno expandido para crear la inclinación.

IMPORTANTE: para hacer posible el efecto termosifón y tener una circulación natural del agua, es necesario que la salida superior del colector solar esté a un nivel inferior al de la entrada superior del contenedor de agua.



Calentador de agua con termosifón (esquema):

- 1: grifo de agua
- 2: depósito aislado
- 3: entrada de agua caliente
- 4: colector solar plano
- 5: entrada de agua fría

Figura 3. Efecto termosifón (CC BY-SA 3.0)<sup>5</sup>

20. Coloca el termosifón, uniendo las bases de apoyo adicionales, y mide la distancia desde las roscas hembra de los pasamuros hasta los codos. Corta los tubos de riego por goteo según esta medida. Esto servirá para enlazar el contenedor de agua y la base.
21. Conecta el depósito de agua con la caja de poliestireno expandido con los dos tubos de riego por goteo.
22. Pega el soporte extra en el contenedor de agua y la caja con adhesivo.

**¡YA TIENES TU TERMOSIFÓN!**

<sup>5</sup> <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=793066>

### **¡Vamos a probarlo!**

Para probar el termosifón, coloca el prototipo en un lugar donde le den los rayos del sol y déjalo durante unas horas. Puedes probar la temperatura del agua con antelación.

Después de tener el termosifón al sol durante unas horas, puedes medir la temperatura del recipiente de agua superior y del agua del fondo. Si el termosifón funciona, habrá una diferencia importante de temperatura.

## ¿Cómo funciona?

En este sencillo prototipo de calentador de agua solar por termosifón, el cuerpo principal de agua (depósito de agua) se encuentra en el punto más alto del sistema. El agua se desplaza hacia abajo desde el depósito de agua por el tubo (que sale cerca de la base del depósito).

El agua caliente es menos densa que el agua fría, por lo que se eleva en los tubos que se dirigen a un punto más alto, el depósito del agua. Este fenómeno que hace que el líquido calentado suba se llama *convección natural*.

El calor y el efecto sifón son las dos claves de un sistema de circulación libre.

Mientras tanto, en el tanque, se produce algo llamado estratificación. El agua sigue circulando lentamente en el tanque también, pero gradualmente el agua más fría se asienta en el fondo del tanque mientras que el agua más caliente permanece cerca de la parte superior. De esta forma, hay varios niveles de temperatura diferentes.

## Material audiovisual

Este material es una ayuda extra para la explicación paso a paso.

Aquí está el enlace: <https://youtu.be/QcAHHdUoQnY>

## Estación de temperatura y humedad

### Descripción

Esta estación de temperatura y humedad se puede utilizar para obtener información sobre el estado suelo, para saber si es adecuada para el cultivo.

Para transferir la información recibida por la estación, el sistema Arduino la transforma en datos legibles. Los sistemas Arduino son plataformas electrónicas de código abierto basadas en un hardware y un software fáciles de usar. Una placa Arduino puede leer las entradas y convertirlas en datos (estos datos pueden mostrarse en una pantalla LED, en una plataforma online, etc.).

En este prototipo se utiliza un Arduino para la lectura de la humedad y de la temperatura del suelo, utilizando un panel solar para obtener la electricidad necesaria para su funcionamiento. El Arduino mostrará la información en una plataforma online, para un control remoto más cómodo y eficaz. En caso de que se prefiera, también se puede utilizar una pantalla LED, pero habrá que actualizar el consumo de la pantalla en los cálculos mostrados a continuación.

### Objetivos pedagógicos

- Mejorar la comprensión de la tecnología del mundo real
- Competencias en inglés
- Mejorar la comprensión de las energías renovables en la agricultura
- Adquirir conocimientos mediante la construcción de equipos funcionales
- Fórmulas básicas para obtener datos específicos relacionados con la energía solar

### Materiales necesarios

DESCRIPCIÓN	UNIDADES
Sistema de temperatura y humedad KeeYess <sup>6</sup>	1
Batería 5V	1
Panel FV 10W	1
O	
Panel FV18W	1
Sensor de humedad	1
Sensor de temperatura	1

### Cálculos

---

<sup>6</sup> Incluye un módulo de pantalla OLED IIC de 1,3" de gran tamaño, combinado con la ESP8266 NodeMCU y el módulo BME280 para obtener datos meteorológicos.

$$\text{Consumo (Wh/día)} = \frac{(\text{mA}) \cdot (\text{V}) \cdot (24\text{h})}{1000}$$

<b>CONSUMO</b>			
	Consumo (mA)	Voltage (V)	Consumo (Wh/día)
Placa Arduino	70		
Sensores H & T	2,5		
Humedad del suelo	5		
<b>TOTAL</b>	<b>77,5</b>	<b>3,3</b>	<b>6,138</b>

$$\text{Autonomía de la batería (h)} = \frac{\text{Capacidad de la batería (mAh)}}{\text{Consumo (mA)}}$$

<b>AUTONOMÍA (sin sol)</b>		
Capacidad de la batería (mAh)	Horas (h)	Días (d)
2000	25.81	1.08
5000	64.52	2.69
10000	129.03	5.38
20000	258.06	10.75

Teachers' dossier: practical projects in the classroom

La siguiente tabla muestra la producción fotovoltaica para 3 potencias diferentes de los módulos fotovoltaicos (5, 10 y 18Wp), basada en los datos extraídos de PVGIS para la ubicación de la Fundación de la CV para una economía baja en carbón, y con una inclinación de los módulos fotovoltaicos de 30° y 0° de acimut.

PRODUCCIÓN							
Irradiación fija (W/m2)		5 Wp		10 Wp		18 Wp	
		Producción (Wh/d)		Producción (Wh/d)		Producción (Wh/d)	
		ENERO	JUNIO	ENERO	JUNIO	ENERO	JUNIO
0:00	0	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
1:00	0	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
2:00	0	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
3:00	0	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
4:00	0	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
5:00	0	0.00	0.09	0,00	0,19	0,00	0,34
6:00	0	0.00	0.42	0,00	0,84	0,00	1,51
7:00	0	0.00	1.09	0,00	2,19	0,00	3,93
8:00	32,86	0.14	1.82	0,27	3,64	0,49	6,55
9:00	71,57	0.30	2.52	0,59	5,03	1,06	9,06
10:00	543,92	2.24	3.05	4,49	6,10	8,08	10,98
11:00	647,54	2.67	3.36	5,35	6,71	9,62	12,08
12:00	683,57	2.82	3.52	5,64	7,03	10,16	12,66
13:00	656,57	2.71	3.32	5,42	6,64	9,76	11,96
14:00	542,42	2.24	2.94	4,48	5,88	8,06	10,58
15:00	394,19	1.63	2.37	3,25	4,74	5,86	8,54
16:00	36,37	0.15	1.62	0,30	3,25	0,54	5,84
17:00	0,03	0.00	0.89	0,00	1,77	0,00	3,19

18:00	0	0.00	0.26	0,00	0,52	0,00	0,94
19:00	0	0.00	0.03	0,00	0,07	0,00	0,12
20:00	0	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
21:00	0	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
22:00	0	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
23:00	0	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>		14.90	27.30	29,79	54,61	53,63	98,30

Como se puede observar en los datos obtenidos, la producción fotovoltaica diaria de un módulo fotovoltaico de 5 Wp (14,9 Wh/d) sería más que suficiente para producir la energía diaria requerida por el sistema (6.138 Wh/d).

## Cálculos paso a paso (con imágenes)

1. En primer lugar, calcula el consumo. Para ello, calcula el consumo energético diario de la estación meteorológica como la suma del consumo de los componentes individuales.

Por ejemplo:

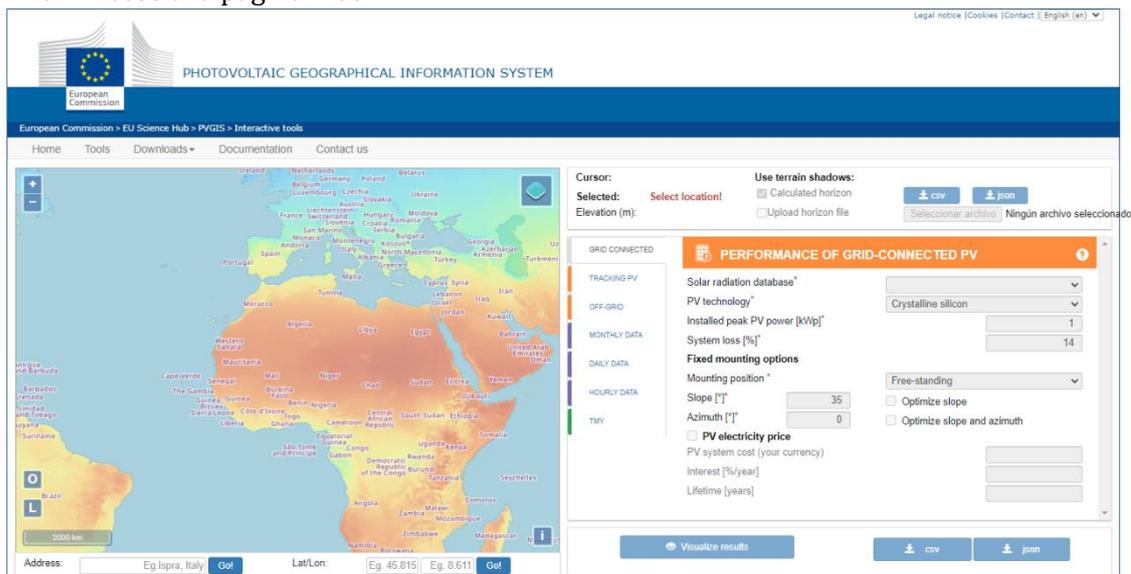
- NodeMCU (Arduino): 70 mA a 3.3V
- Sensor de temperatura y humedad: 2.5 mA a 3.3V
- Sensor de humedad del suelo: 5 mA a 3,3V

$$\text{Consumo diario} = \frac{(70 + 2.5 + 5)}{1000} A * 3,3V * 24h = 6,14 Wh$$

2. En segundo lugar, continuas con **la producción, calculando la potencia máxima del panel fotovoltaico.** Para el cálculo de la potencia pico del panel fotovoltaico se necesita saber la producción solar que podemos obtener en la localización de la estación meteorológica. Esta producción se obtendrá con la herramienta de la página web del PGIS

[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)

- a. Acceso a la página web



- b. Selecciona la localización en el mapa

c. En la casilla de potencia pico instalada selecciona 1 kWp para realizar el cálculo.

d. Activa la casilla de optimizar inclinación.

PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Interactive tools

Home Tools Downloads Documentation Contact us

Cursor: Selected: 39.824, -0.231 Elevation (m): 121

Use terrain shadows:  Calculated horizon  Upload horizon file

GRID CONNECTED

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database\*: PVGIS-SARAH

PV technology\*: Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]: 1

System loss [%]: 14

Fixed mounting options

Mounting position\*: Free-standing

Slope [°]: 35  Optimize slope

Azimuth [°]: 0  Optimize slope and azimuth

PV electricity price

PV system cost (your currency):

Interest [%/year]:

Lifetime [years]:

Visualize results

e. Presiona el botón de visualizar resultados.

PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM

European Commission > EU Science Hub > PVGIS > Interactive tools

Home Tools Downloads Documentation Contact us

Cursor: Selected: 39.824, -0.231 Elevation (m): 121

Use terrain shadows:  Calculated horizon  Upload horizon file

GRID CONNECTED

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

Solar radiation database\*: PVGIS-SARAH

PV technology\*: Crystalline silicon

Installed peak PV power [kWp]: 1

System loss [%]: 14

Fixed mounting options

Mounting position\*: Free-standing

Slope [°]: 35  Optimize slope

Azimuth [°]: 0  Optimize slope and azimuth

PV electricity price

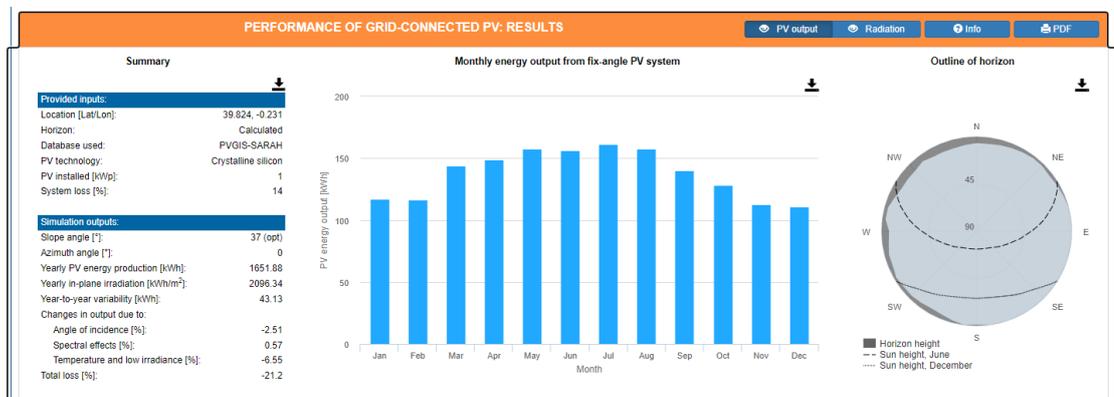
PV system cost (your currency):

Interest [%/year]:

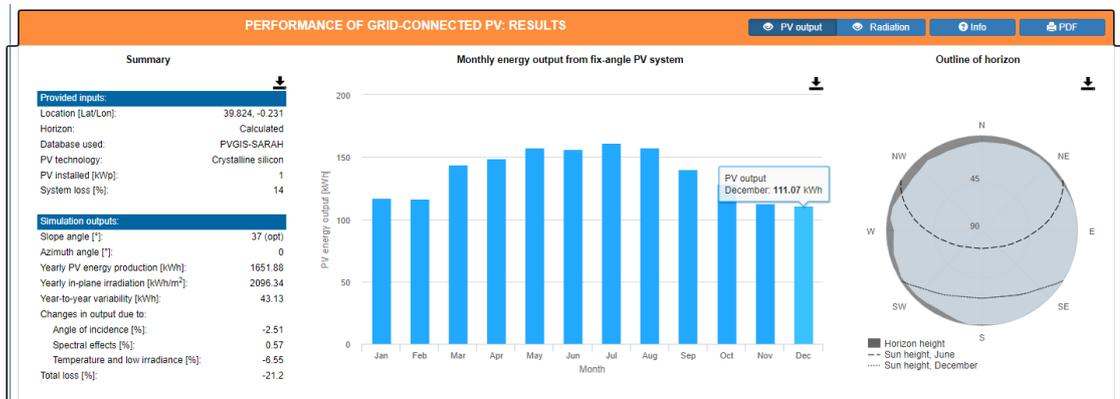
Lifetime [years]:

Visualize results

f. En el lateral izquierdo nos indica la inclinación óptima para la localización elegida.



- g. En el gráfico situamos el cursor sobre el mes con menor producción, para realizar los cálculos sobre el peor de los casos.  
En el ejemplo será el mes de diciembre con una producción mensual de 111,07 kWh/mes por cada 1 kWp instalado.



- h. Calcula la producción diaria dividiendo la cifra anterior por el número de días de ese mes.

$$\text{Producción diaria} = \frac{\text{Producción mensual}}{n^{\circ} \text{ días del mes}}$$

En el ejemplo:

$$\text{Producción diaria} = \frac{111,07 \frac{\text{kWh}}{\text{mes} \cdot \text{kWp}}}{31 \text{ días/mes}} = 3,58 \frac{\text{kWh}}{\text{día} \cdot \text{kWp}} = 3,58 \frac{\text{Wh}}{\text{día} \cdot \text{Wp}}$$

- i. Será necesario que la energía producida por el sistema sea mayor a la consumida, por lo que:

$$\text{Producción diaria} \geq \text{Consumo diario}$$

Se calcula la potencia pico del panel mediante la siguiente formula:

$$\text{Potencia pico (Wp)} \geq \frac{\text{Consumo diario (Wh/día)}}{\text{Producción diaria} \left( \frac{\text{Wh}}{\text{Wp} \cdot \text{día}} \right)}$$

En el ejemplo:

$$\text{Potencia pico (Wp)} \geq \frac{6,14 \text{ (Wh/día)}}{3,58 \left( \frac{\text{Wh}}{\text{Wp} \cdot \text{día}} \right)}$$

$$\text{Potencia pico (Wp)} \geq 1,72 \text{ Wp}$$

La potencia pico del panel fotovoltaico a seleccionar para el proyecto del ejemplo será como mínimo de 1,72 Wp.

3. Ahora es el momento de calcular la **capacidad de la batería**.

- a. La capacidad de la batería dependerá de la autonomía del sistema y su consumo.

$$\text{Capacidad batería (Wh)} \geq \text{Consumo diario (Wh)} \cdot \text{Autonomía (días)}$$

$$\text{Capacidad batería (mAh)} \geq \text{Capacidad batería (Wh)} / \text{Tensión batería (V)} \cdot 1000$$

Siguiendo el ejemplo y para una autonomía de 5 días la capacidad de la batería necesaria sería de:

$$\text{Capacidad batería (Wh)} \geq 6,14 \text{ Wh} \cdot 5 \text{ días} \geq 30,7 \text{ Wh}$$

$$\text{Capacidad batería (mAh)} \geq \frac{30,7 \text{ Wh}}{3,7 \text{ V}} \cdot 1000 \geq 8.297 \text{ mAh}$$

En el ejemplo para una autonomía de 5 días la capacidad de la batería tendrá que ser mayor de 30,7 Wh (8.297mAh a 3,7 V).

4. Después de tener todos los cálculos, es posible saber qué panel solar necesitamos para alimentar la estación de humedad y temperatura, siguiendo las instrucciones de construcción de la estación seleccionada.
5. Para extraer los datos de la estación a un equipo remoto, es posible hacerlo si la estación tiene conexión wifi, y se puede enviar a la siguiente herramienta: Ubidots en <https://ubidots.com/>

## Material audiovisual

Este material es una ayuda extra para la explicación paso a paso de nuestra estación de temperatura y humedad seleccionada.

Aquí está el enlace: <https://youtu.be/XRxYTHoQ9j8>

## Prototipos experimentales

László Lakatos, Tamás Misik y Csaba Patkós (EKCU)

### Introducción: los invernaderos, una de las formas más sencillas de utilizar la energía solar

#### Funcionamiento de los invernaderos

En los invernaderos, el material de cobertura transmite en gran medida la luz solar, es decir, la *radiación de onda corta*, pero retiene una parte importante de la radiación de onda larga, la llamada *radiación térmica*. Debido a ello, la temperatura en el interior de los invernaderos y las carpas de lámina puede ser hasta varios grados más alta. Como consecuencia de esta mayor temperatura, la evaporación de la superficie de la planta, o del suelo, también será más intensa en el interior. Por tanto, en los invernaderos y las carpas de lámina se pueden experimentar no sólo temperaturas más altas, sino también una mayor humedad.

#### ¿Porque usamos los invernaderos?

Mediante el uso de invernaderos, tenemos la oportunidad de modificar las temporadas de cultivo, sin dependiendo tanto de la climatología. Es decir, con su uso podemos prolongar la duración de la temporada de cultivo y también proteger nuestros cultivos de los efectos de las condiciones climáticas adversas (heladas, hielo, tormentas de viento).

#### Materiales de los invernaderos

Los invernaderos pueden ser de vidrio simple o aislado, o de lámina de policarbonato. El material de los túneles de cultivo son unas láminas transparentes, estables a los rayos UV, que transmiten bien la radiación de onda corta, pero retienen la radiación de onda larga en el interior del invernadero de tipo túnel. (Fig. 1). (Fig. 1).



Figura 1. Invernadero túnel EVA con filtro UV.

Las láminas EVA constan de tres capas: la capa exterior atrapa los rayos UV, que son perjudiciales para las plantas, la otra impide que los rayos de onda de gran longitud de onda salgan del sistema y la tercera

capa garantiza la resistencia del material. En la cara interior de los invernaderos, las láminas EVA suelen estar tratadas con un aditivo deshumidificador para evitar la condensación.

## Tipos y formas de invernaderos

Hay dos tipos básicos de invernaderos: unidos a un edificio o independientes. Los invernaderos conectados al edificio suelen tener una superficie menor, principalmente se usan para la germinación de semillas o como vivero. El edificio al que está unido también proporciona protección y calefacción para el invernadero. La conexión al edificio puede hacerse no sólo a través del suelo, sino incluso a través de la ventana (figura 2).

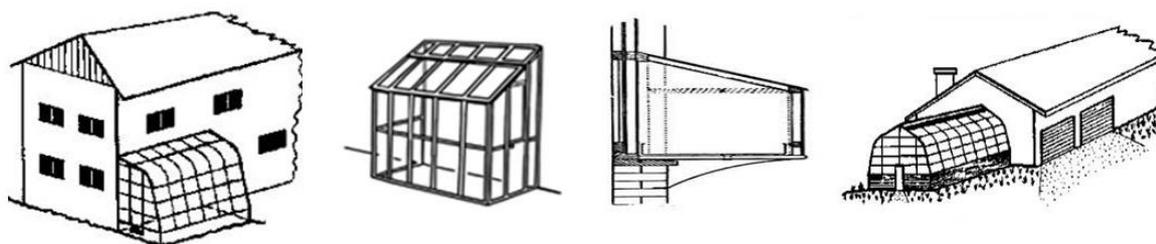


Figura 2. Diseño de invernaderos conectados a un edificio.

Los invernaderos independientes suelen tener un diseño simétrico, pero también los hay asimétricos. Su diseño varía de un país a otro (figura 3). El objetivo principal del diseño es proporcionar una radiación continua a las plantas que se encuentran en el interior durante el día, y ofrecer una protección adecuada contra los efectos de las condiciones climáticas adversas, como el granizo o las heladas.

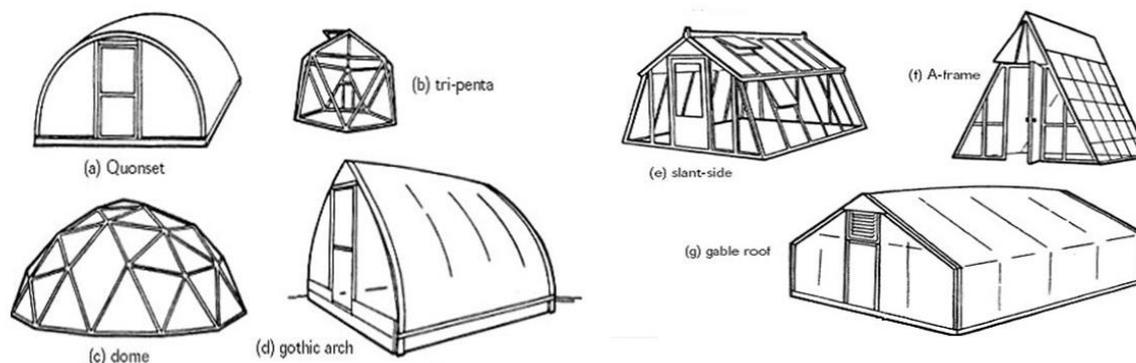


Figura 3. Tipos de invernaderos aislados

Su superficie permite el cultivo a gran escala, pero también los hay para la jardinería de aficionados en pequeños jardines. Los túneles invernaderos y los invernaderos sólo pueden utilizarse en invierno, en países con climas más fríos, con calefacción.

## Túneles de cultivo estilo chino

El uso de los túneles de cultivo es muy común en China. A lo largo de los siglos, se ha desarrollado una forma especial de túnel que permite una producción eficiente de hortalizas incluso en invierno (Figura 4).

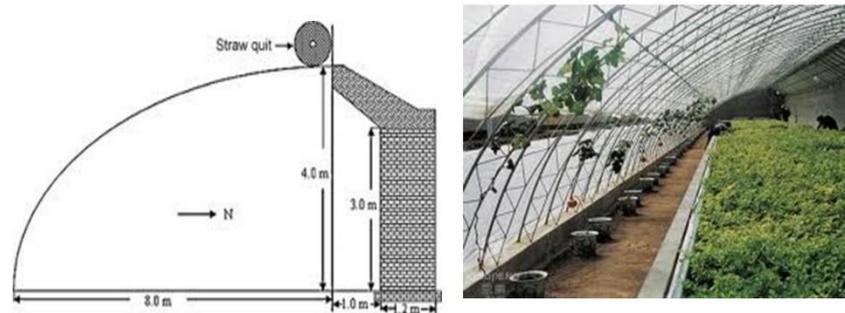


Figura 4. Perfil transversal e interior de un túnel invernadero estilo chino.

La eficacia de la operación radica en la pared trasera de 1m de grosor. La estera que se puede cubrir con hojas. Durante el día, no sólo se calienta el interior, sino también la gruesa pared trasera. Por la noche, transfiere el calor al aire. La radiación se reduce considerablemente gracias a la esterilla cubierta con la lámina, lo que deja más calor en el interior por la noche comparado con el caso de una tienda de lámina simple. En el caso de los túneles más grandes, la cobertura nocturna de la estera se realiza mediante motores eléctricos (Figura 5). Su orientación hacia el sur es de suma importancia porque es la única forma de aprovechar adecuadamente la energía de la radiación solar.



Figura 5. La alfombra se enrolla en la parte superior del túnel invernadero.

En estos túneles agrícolas chinos, especialmente diseñados, no sólo se pueden cultivar hortalizas, sino también frutas, utilizando los mecanismos de sujeción correctos. (Fig. 6).



Figura 6. Huerto en túnel estilo chino.

## Túnel invernadero

Los túneles invernaderos de lámina son instalaciones de 2-3 m de ancho, 70-90 cm de alto y 10-15 m de largo. Su estructura está hecha de un tubo de PVC duro con una presión nominal de P3 con un diámetro de 2 cm y un grosor de pared de 2 mm (Figura 7). Los tubos se colocan a 1 m de distancia, doblados en forma de arco. Sus dos extremos se insertan tan profundamente en el suelo que la altura de la cumbre de los lechos con un ancho básico de 3 m es de 90 cm y la de los lechos con un ancho de 2 m es de 70 cm. Los arcos están conectados a lo largo de la línea de la cresta con un tubo de plástico de 2 cm de diámetro para evitar que la estructura se mueva en la dirección longitudinal. Para el recubrimiento se utiliza una lámina de PE de 0,1-0,15 mm de espesor. Además de las nervaduras, se hace una ranura de 25-30 cm de profundidad en el exterior a ambos lados del túnel, y la lámina extendida en el bastidor se apoya aquí para que quede fuertemente tensada en las nervaduras.

Debido a su baja altura de cresta, los mini túneles invernaderos no son adecuados para trabajar en posición vertical. Son adecuados para el cultivo de especies vegetales tolerantes al frío.



Figura 7. Cultivo de lechuga en un mini túnel invernadero.

## Domos de cultivo

El cambio climático es un gran reto para la producción agrícola del futuro. En la actualidad existen varios modelos para la simulación del clima que se utiliza para tratar de producir cómo evolucionará la producción de los cultivos en el futuro.

Tanto los modelos climáticos como los modelos vegetales tienen algunos fallos. Como los errores de cada sistema se suman, nuestra visión agrícola modelizada es bastante inexacta. Otro problema de los modelos de simulación de plantas es que son poco adecuados para predecir los índices de calidad de las plantas, a pesar de que para muchas de ellas hoy en día los índices de contenido (proteínas, azúcares, ácidos, vitaminas, antocianinas) son más importantes que el propio rendimiento. El uso de cámaras climáticas y fitotrones es muy común en la investigación biológica y agrícola. En ellos, algunas plantas pueden colocarse en macetas o medios de cultivo. En ellas, las plantas se desarrollan bajo una iluminación artificial y una temperatura y humedad controladas. Como estos dispositivos no representan las condiciones reales del campo, son menos adecuados para realizar experimentos de cultivo.

Los datos de los experimentos en pequeñas parcelas de campo o en pequeños invernaderos ya proporcionan datos útiles para la introducción y el ensayo de nuevas variedades de plantas o cultivos. Sin embargo, con este método de investigación tradicionalmente utilizado, no podemos controlar adecuadamente ni la temperatura, ni la humedad, ni la concentración de dióxido de carbono.

La solución a este problema es el domo de cultivo. El domo de cultivo (o cúpula de invernadero) es un invernadero especialmente diseñado con un acceso casi ininterrumpido a la radiación solar y un control preciso de las condiciones ambientales (suelo, aire). Su tamaño puede variar mucho, desde unos pocos metros cúbicos de espacio interior hasta cientos o miles de metros cúbicos de volumen de aire. Las unidades interiores más pequeñas no suelen estar equipadas con aire acondicionado, por lo que funcionan como un invernadero especialmente diseñado (Figura 8).



Figura 8. Invernadero de cúpula geodésica.

(Fuente: Guangzhou Hengnuo Tent Technology Co., China)

La mayor ventaja del invernadero en forma de cúpula es que hace un excelente uso de la energía radiante. En él, se pueden colocar plantas más altas y árboles frutales en el medio y se pueden examinar el crecimiento y varios parámetros del cultivo (Fig. 9)

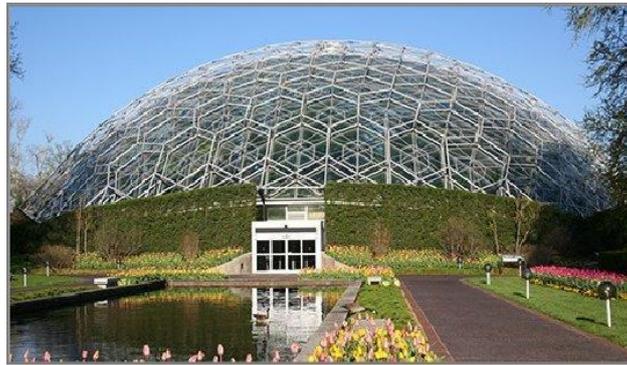


Figura 9. Domo de cultivo

(Fuente: Pilarska et al., 2018)

El Centro de Investigación de Cultivos para el Futuro [Crops for the Future Research Center (CFFRC)] se estableció en el campus de Malasia de la Universidad de Nottingham (Figura 10). El objetivo del centro de investigación es estudiar diferentes especies de plantas cultivadas en condiciones climáticas controladas para ver cómo se desarrollan los índices de contenido vegetal a temperaturas más altas y los niveles de dióxido de carbono generados. (CFFRC, 2011).



Figura 10. Centro de investigación de cultivos para el futuro.

(Fuente: <https://www.linkedin.com/company/crops-for-the-future-research-centre>)

En muchos países, un jardín botánico se sitúa en invernaderos en forma de cúpula, ya que en su interior se puede mantener una temperatura y una humedad especialmente altas, y una amplia gama de concentraciones de dióxido de carbono. La imagen siguiente muestra un jardín botánico construido en Vietnam en 2018 (Figura 11).



Figura 11. Edificio con cúpula de cristal y metal del Jardín botánico de Vietnam, en la ciudad de Nha Trang.

## Beneficios de uso

Los resultados de los futuros cultivos agrícolas serán más precisos que los resultados del modelo actual. Esta sala climática puede desempeñar un papel muy importante en la investigación agrícola básica, ya sea para probar el resultado de las variedades actualmente cultivadas, así como también de las nuevas. No sólo puede funcionar como laboratorio de investigación, sino también como expositor agrícola. A través de los visitantes de todas las edades se puede ver y aprender con mayor conocimiento y también tratar de experimentar en los futuros cambios en la producción agrícola.

## Prototipo experimental: tiendas laminadas

El objetivo de la construcción de las carpas de lámina experimentales era averiguar qué diseño de los invernaderos tipo carpa proporciona una mayor protección para las hortalizas de cultivo temprano. En

términos de utilización de la energía solar, hemos desarrollado invernaderos de carpas de lámina experimentales en las que podemos cultivar diferentes hortalizas en 2 niveles interiores en un espacio de casi 1 m<sup>2</sup> y comparar en qué medida la planta se desarrolla más rápidamente en invernadero de diferentes diseños que en un entorno natural. La construcción de los tres tipos de invernadero tipo tienda de lámina puede proporcionar también información útil para los jardineros sobre qué tipo de tienda de lámina proporciona mayor seguridad para el desarrollo temprano de las plantas en climas más fríos al final del invierno. La eficacia del aprovechamiento de la energía solar depende del diseño de las carpas de lámina. Hay carpas de lámina de pared simple y doble. Las carpas de película de pared simple son las más comunes, tienen el diseño más barato y se pueden fabricar más rápidamente.

En las de doble capa hay aire entre las dos láminas, lo que proporciona un mejor aislamiento para la tienda de lámina doble que para la tienda de lámina de una sola capa (Fig. 12).



Figura 12. Tienda de lámina doble.

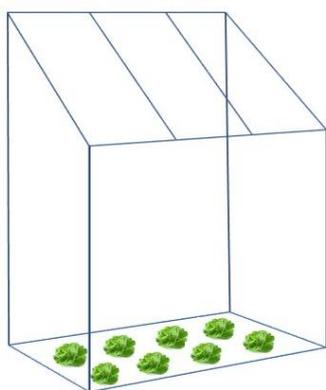
Debido a la baja capacidad térmica del aire, los sistemas de doble pared tampoco pueden almacenar una cantidad significativa de energía térmica. En consecuencia, la temperatura en su interior también disminuye de forma más significativa durante la noche. De los medios naturales al alcance, el agua, es una de las sustancias con mayor capacidad térmica. Por lo tanto, los invernaderos de lámina con una pared de agua no sólo protegen a las plantas de la pérdida de calor por radiación, sino que también irradian energía al interior del invernadero de lámina durante la noche debido a que su enfriamiento es más lento. Por lo tanto, el aire contenido en el interior del invernadero tipo tienda de lámina puede ser significativamente más alto por la mañana que la temperatura del aire exterior. En nuestro caso, la pared de agua se construyó colocando globos llenos de agua delante de la pared trasera de la tienda de lámina (Fig. 13).



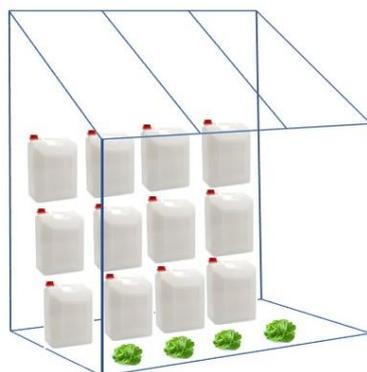
Figura 13. Tienda de lámina con almacenamiento de calor medio y globos de agua.

Así, durante el día, el agua de los tanques se calienta bajo la influencia de la luz solar directa y transfiere esta energía térmica almacenada en el agua al aire del interior del invernadero tipo tienda de lámina durante la noche. Las tres tiendas de lámina de diseño diferente también ofrecen la oportunidad de probar cuál es la más adecuada para el cultivo de plantas. Nuestras plantas de prueba son lechugas y los tomates. Las lechugas pueden sembrarse en carpas de lámina zen ya en invierno, cuando todavía se producen heladas nocturnas. La eficacia y la protección contra las heladas de los invernaderos con carpas de lámina de diferentes diseños pueden probarse por separado. Los tomates son una planta que requiere mucho calor, pero pueden sembrarse en tiendas de lámina a principios de la primavera. También en este caso se puede comprobar la eficacia de las carpas de lámina de diferentes diseños. Con la ayuda de los tres invernaderos de diferentes diseños, podemos comparar cómo se desarrolla el curso diario de la temperatura en una carpa de lámina de almacenamiento de calor equipada con una de doble pared y con globos de agua. Podremos analizar en cuál de los tres invernaderos con diseños diferentes se desarrollan de forma más óptima nuestras plantas cultivadas (figura14).

**Single-walled without heat storage**



**Single-walled with heat storage**



**Double-walled without heat storage**

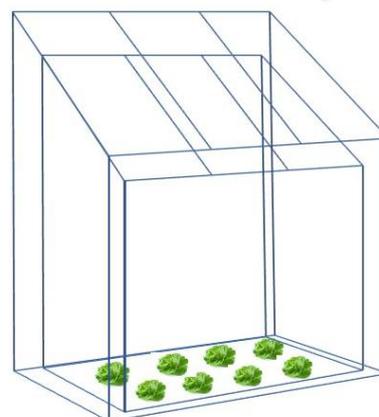


Figura 14. Diagrama esquemático de tres diseños experimentales de invernaderos tipo tienda.

## Materiales

Para el montaje de los invernaderos hicieron falta los siguientes materiales:

- Riel de techo Bramach: 60 m
- Láminas
- Láminas de zócalo
- Tornillos para madera
- Bisagras de las puertas
- Láminas de poliestireno
- Macetas tipo balcón
- Sustrato
- Cerraduras
- Globos de plástico

En lotes, se compraron las siguientes cantidades de los materiales necesarios para fabricar la carpa de lámina (Tabla 1).

Tabla .1 Cantidades de materiales necesarios para fabricar los mini invernaderos.

	<b>Cantidad (m/m<sup>2</sup>/db)</b>	<b>Precio por unidad (EUR)</b>	<b>Total (EUR)</b>
Riel de techo (m)	68	1.0	68.0
Foil (m <sup>2</sup> )	14	2.9	40.5
Foil Skirting (m)	32	0.7	23.6
Tornillería (pcs)	400	0.037	14.7
Bisagras (pcs)	8	0.5	3.8
Láminas de poliestireno (pcs)	3	1.6	4.7
Macetas (pcs)	3	3.6	10.7
Sustrato (pcs)	2	3.2	6.3
Cerraduras (pcs)	4	0.5	1.9
Globos de plástico	6	5.5	33.2
Total			207.4

El coste de construcción de un invernadero de película de pared simple es de aprox. 50 euros. El coste del material de la carpa de aluminio experimental con un medio de almacenamiento de calor o de doble pared es de entre 75 y 80 euros.

Los invernaderos terminados se colocaron junto al edificio de la Facultad de Ciencias. Los tres están orientados hacia el sur, lo que proporciona un suministro de luz solar favorable para el desarrollo de las plantas durante el día desde la mañana hasta el final de la tarde (Fig. 15). La ubicación, la orientación óptima y la exposición a la luz solar son esenciales para una operación eficiente y económica.



Figura 15. Mini invernaderos para un uso eficiente de la energía solar.

## **Investigación de como instalar sistemas híbridos (solar – eólico)**

Cuando se instalan sistemas híbridos, se busca principalmente la respuesta a si la instalación del sistema mejora la eficiencia y la disponibilidad de la producción de energía. En el caso de los sistemas híbridos, los dos sistemas de producción de energía (solar y eólica) pueden complementarse, es decir, cuando hay poca energía solar, puede haber mucha energía eólica disponible y cuando hay mucha energía solar tal vez haya poca energía eólica. En este caso, se recomienda especialmente la instalación de sistemas híbridos. Por supuesto, también puede ocurrir que cuando hay poca energía solar disponible, la energía eólica sea también muy escasa. Si estos atardeceres se producen con frecuencia en una zona determinada, el uso de sistemas híbridos puede no ser la solución para el uso de las energías renovables. Dado que los sistemas solares no generan electricidad por la noche, la cuestión es si el lugar de la instalación genera tanta energía eólica por la noche como la que se puede utilizar de forma económica. De este modo, el sistema híbrido permite una producción de energía más continua que el uso de sistemas de energía solar y eólica por separado.

### **Pasos para la instalación de sistemas de producción de energía solar**

- Adecuación al clima, evaluación del potencial climático.
- Eliminación de los factores ambientales locales desfavorables para la producción de energía, es decir, determinación del emplazamiento más adecuado.
- Determinación de la dinámica anual de la energía solar que puede producirse en el lugar de instalación dado.
- Determinación de la dinámica anual de la energía eólica que puede generarse a una altura determinada en un lugar de instalación dado (utilizando una base de datos local) Los datos horarios de SYNOP están disponibles en [www.meteomanz.com](http://www.meteomanz.com)
- Elaboración de la dinámica anual de la energía que puede producirse con sistemas híbridos.

### **Factores que reducen la eficiencia del uso de la energía solar**

- Zonas con una nubosidad más frecuente que la media.
- Áreas en un valle profundo entre montañas donde el grado de restricción del horizonte es significativo.
- El centro de la ciudad o donde se encuentran los edificios altos tiene un efecto de sombreado significativo en los edificios.
- Entorno suburbano con muchos árboles que dan sombra.
- En el borde de los parques, en zonas próximas a los bosques, donde el efecto de sombreado de las copas de los árboles es significativo.

- Si los paneles solares se colocan en la parte superior de los edificios, es importante orientarlos en el edificio adecuadamente.

El uso de la energía solar es muy popular en muchos países de Europa. Se puede generar electricidad y calor de forma predecible mediante paneles y colectores solares. El único factor de incertidumbre a la hora de predecir la energía solar que se puede producir es la nubosidad. La cantidad, el tipo y el grosor de la nube influyen significativamente en la cantidad de energía solar que se puede producir. Por lo tanto, no es ventajoso instalar instalaciones solares en zonas donde la nubosidad es habitual debido a las condiciones climatológicas locales.

## Evaluación del potencial solar

El primer paso es analizar la cantidad potencial de energía solar que puede esperarse en el lugar geográfico donde queremos instalar los paneles o colectores solares. Observando el mapa de radiación global en Europa, podemos observar que se espera un mayor potencial de radiación solar en las regiones del sur de Europa, debido al mayor ángulo de incidencia. Al mismo tiempo, podemos ver que casi todo el continente europeo, con la excepción de las zonas septentrionales de los Estados bálticos, es apto para la energía solar, ya que incluso en Estonia la energía radiante anual alcanza los 1000 kWh / m<sup>2</sup> (Figura 1).

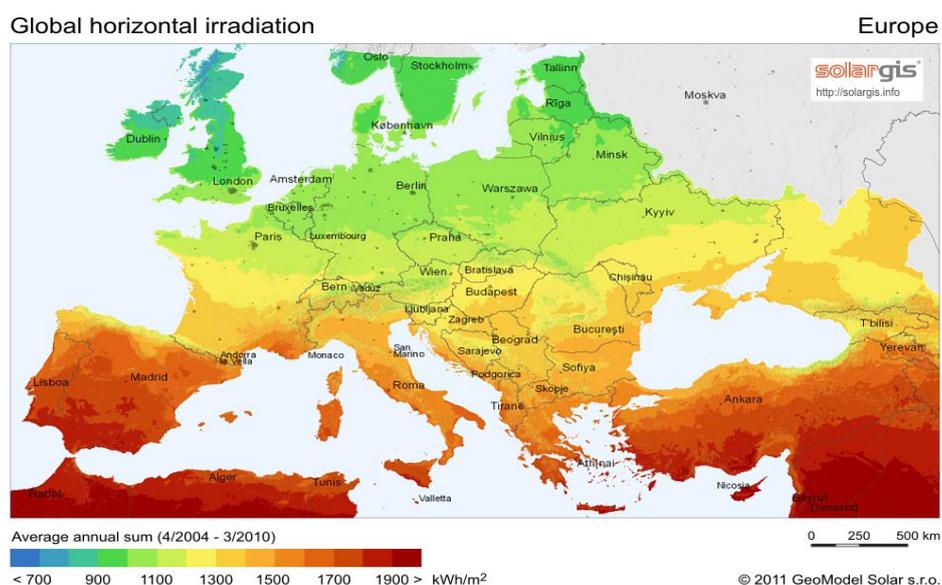


Figura 1. Distribución territorial de la cantidad de energía radiante anual en el continente europeo.

En la imagen podemos ver un mapa de potencias específicas fotovoltaicas el cual muestra la energía solar que se puede producir. Los valores más altos de potencia fotovoltaica se dan en el sureste de España, mientras que las potencias específicas más bajas se dan en el norte de Gran Bretaña e Irlanda

(Figura

2).

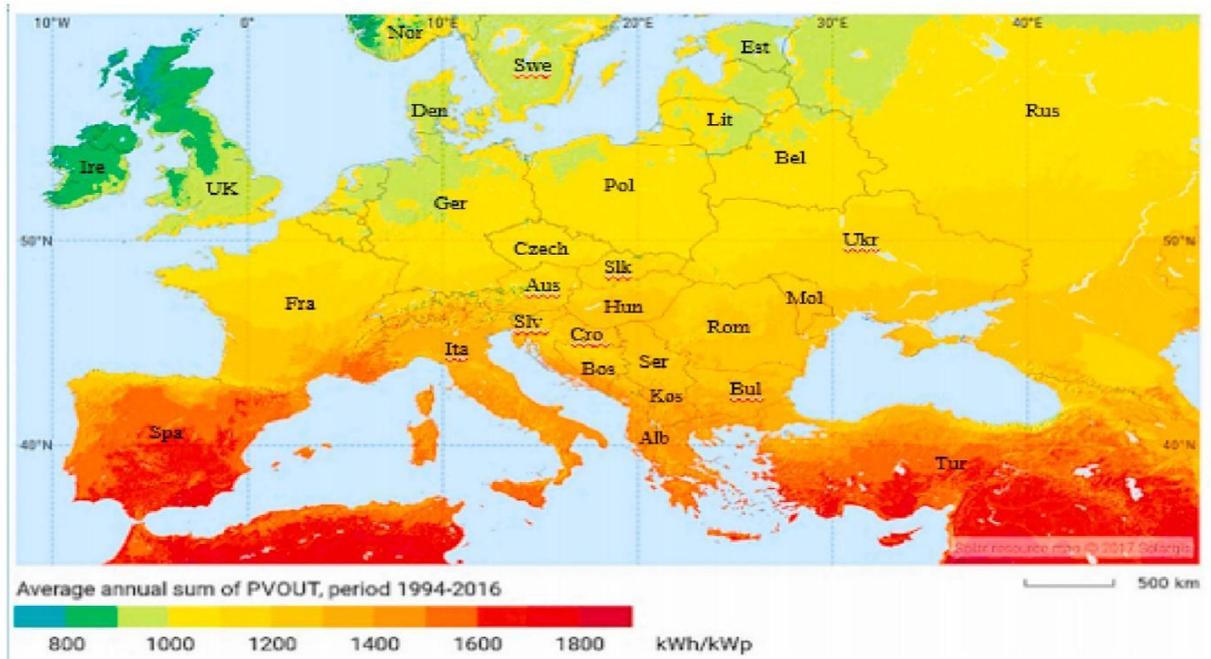


Figura 2. Mapa de potencial de energía solar fotovoltaica en Europa.

### Estudio de las condiciones y dotaciones locales.

Por supuesto, la topografía a microescala u otros factores de sombreado, como la altura de los edificios circundantes, las copas de los árboles o la orientación inadecuada de la estructura del tejado del edificio, que pueden ser objeto de descuido, pueden reducir considerablemente la cantidad de energía que puede producirse. El potencial fotovoltaico de un lugar geográfico determinado para la zona europea puede analizarse con el siguiente software [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVPi](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVPi) (Figure 3).

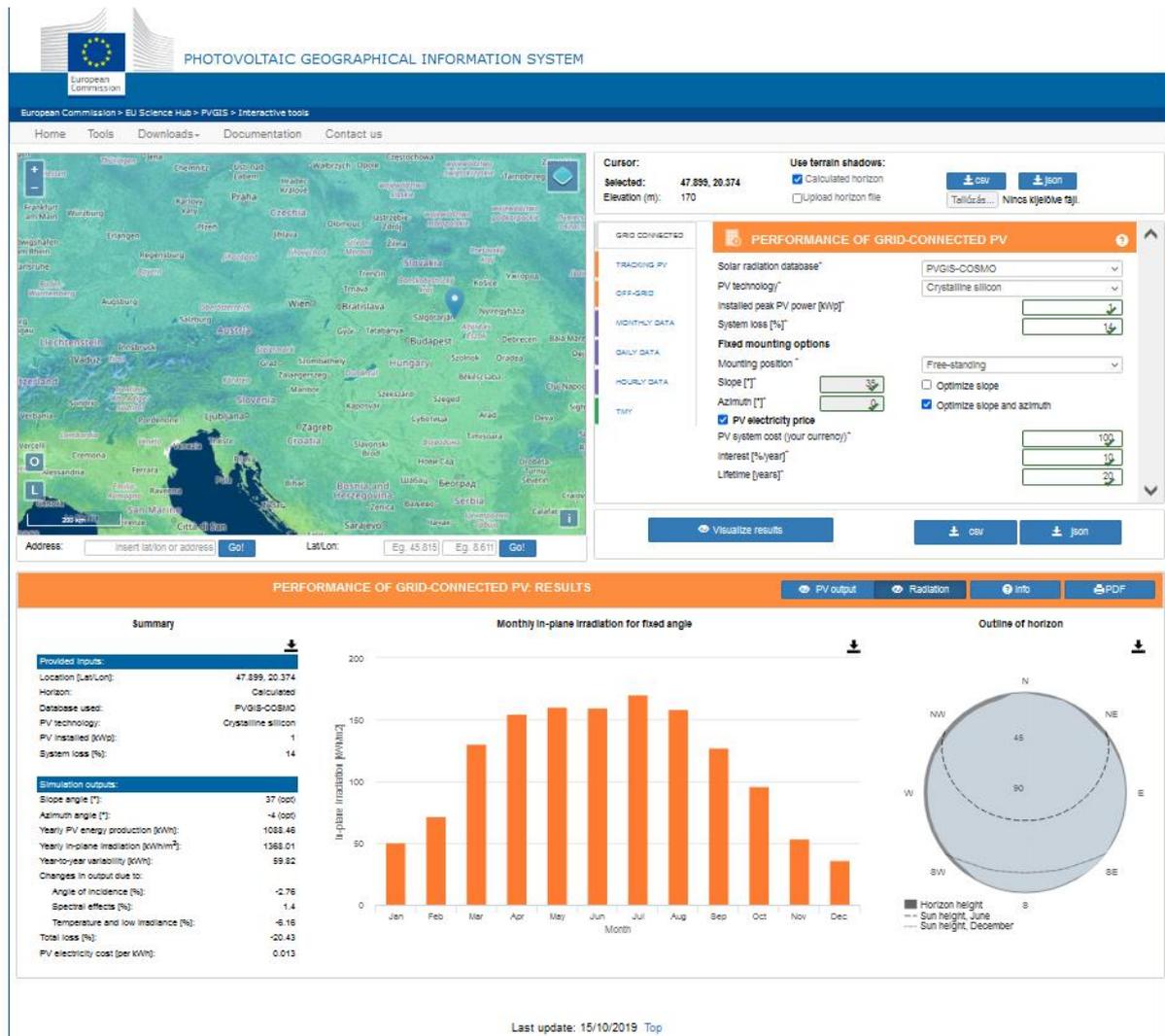


Figura 3. Sistema de información geográfico fotovoltaico.

Usando la aplicación para la correcta orientación de las placas Solares

Selecciona la zona horaria e introduce sus coordenadas (latitud y longitud) para calcular la orientación óptima de las placas solares fijas (Tabla 1). Puedes encontrar las coordenadas geográficas en Google Search<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> <https://solarsena.com/solar-panel-orientation-calculator/>

Tabla 1. Captura de pantalla de la calculadora de Excel.

<b>Input:</b>		<b>Note: Enter positive latitude for north, e.g., 34.05 for Los Angeles (34.05° N) And negative latitude for south, e.g., -33.87 for Sydney (33.87° S)</b>	
<b>Latitude</b>	34.05		
<b>Output 1:</b>			
<b>Optimal Direction</b>	South		
<b>Output 2:</b>			
<b>For Fixed Solar Panel</b>			
<b>Optimal Tilt Angle</b>	34°		
<b>Output 3:</b>			
<b>For Seasonally Adjusted Solar Panel</b>			
<b>Month</b>	<b>Optimal Tilt Angle</b>	<b>Northern hemisphere</b>	<b>Southern hemisphere</b>
March to May	34°	Spring	Fall (or autumn)
June to August	7°	Summer	Winter
September to November	34°	Fall (or autumn)	Spring
December to February	60°	Winter	Summer

## Eficiencia de los paneles solares

El rendimiento de las células solares suele indicarse en Wp, es decir, en vatios pico. Wp es la potencia máxima de la célula solar, es decir, cuando es capaz de dar esa potencia máxima en condiciones de medición estándar. Por ejemplo, si el fabricante especifica una potencia nominal de 245Wp para un panel, una unidad de 20 paneles solares puede considerarse un sistema de 4,9kWp.

Para que un panel solar rinda su máxima capacidad de producción deben cumplirse una serie de condiciones, por tanto, durante sólo unas pocas horas al año es el periodo en el que nuestra célula solar alcanza realmente su máximo rendimiento (normalmente cuando la temperatura es baja y el sol brilla intensamente). Por eso debemos tener en cuenta varios factores juntos para tener una idea realista de la potencia de un sistema solar que necesitamos en nuestro tejado.

## ¿Qué condiciones afectan al rendimiento de una instalación solar fotovoltaica?

Lógicamente uno de los factores más importantes es la cantidad de energía solar que llega al sistema, es decir, la cantidad de energía solar (radiación global) presente en el lugar de la instalación. En otras palabras, hay que tener en cuenta la situación geográfica del inmueble y la orientación exacta de la superficie del tejado.

También es importante el grado de calentamiento de nuestro panel solar, ya que cuanto mayor sea la temperatura del panel, menor será su rendimiento. Está estrictamente prohibido enfriar los paneles solares de forma artificial, ya que la placa de vidrio que los protege puede llegar a agrietarse debido a las fluctuaciones bruscas de temperatura. Por tanto, si un panel solar tiene una potencia de 300 Wp con

condiciones estándar (que serían de 1000 W/m<sup>2</sup> y a 25 grados de temperatura) tendría el 100% de su rendimiento. No obstante, si cambia alguna de las condiciones estándar, su rendimiento disminuiría. Por ejemplo, si hay una radiación de 800 W/ m<sup>2</sup> y la temperatura alcanza los 50 grados centígrados<sup>8</sup>, la potencia pico se reduce a un 70%. Esto equivale a 210 W generados de potencia.

## Factores que influyen en el rendimiento de los paneles solares.

- La cantidad de radiación solar, la radiación global.
- El terreno (orientación ideal: sur).
- Ángulo de inclinación de los paneles solares (inclinación ideal: 35 °).
- Condiciones meteorológicas (temperatura ideal: 25 ° C)
- Tecnología adecuada en la instalación solar.
- Limpieza de la superficie de los paneles solares.
- Sistema solar bien diseñado.

Diferentes tipos de paneles solares pueden funcionar mejor en diferentes climas. En zonas con mucho sol, una célula solar monocristalina rinde más. Mientras que, en zonas más nubladas, las células solares policristalinas y de capa fina tienen mayor eficiencia.

## ¿Cómo podemos tener todos estos factores en consideración?

En primer lugar, un estudio preliminar adecuado in situ aporta datos valiosos, para que el calculista y el contratista del equipo solar fotovoltaico puedan recomendar una tecnología personalizada teniendo en cuenta las características de la casa.

El calentamiento excesivo de los paneles puede reducirse, por ejemplo, con una célula solar de media célula: por la mitad de la célula pasa la mitad de corriente, por lo que se calentará menos. Al reducir la temperatura de las células, se puede aumentar su vida útil y el rendimiento será mayor.

## Condiciones para la energía eólica

Hay zonas específicamente ventosas que se crean como resultado de las condiciones orográficas. En la zona de los picos y cimas de las montañas, así como en los cañones y desfiladeros, el flujo de aire se acelera debido al estrechamiento del campo de flujo.

El viento creado como resultado de la orografía puede ser catabólico, en cuyo caso podemos hablar de un viento descendente a lo largo de la ladera, que se crea principalmente por la noche. Mientras que el aire calentado fluye hacia la montaña durante el día, lo que se denomina viento anabático.

---

<sup>8</sup> Cuanto mayor temperatura, más pérdidas.

Podemos hablar de vientos lacustres o marinos o costeros debido a la tendencia de la temperatura a igualarse entre el mar y la orilla o entre medios con diferentes capacidades caloríficas, o entre el mar y los mares.

## Evaluación del potencial eólico

Al examinar la energía eólica, es importante mencionar que las velocidades del viento se miden a 10 m de altura. Esta altura no es adecuada para probar el viento con fines energéticos. La altura de los aerogeneradores se sitúa entre 80-120m. Por lo tanto, los potenciales de viento con fines energéticos se suelen dar para estos niveles de altitud.

Uno de los métodos más aceptados y utilizados para determinar la velocidad del viento a mayor altura es la relación de Hellman, que tiene la siguiente forma

$$v_2 = v_1 \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad (\text{Fórmula 1})$$

Donde  $v_2$  = velocidad del viento estimada a la altura deseada,  $v_1$  = velocidad del viento medida a la altura  $h_1$ ;  $h_2$  = altura deseada;  $h_1$  = la altitud en la que se midió la velocidad del viento,  $\alpha$  = su función en función de la articulación de la superficie y la posición de equilibrio de la atmósfera, la cual tiene un curso diario y anual. Basándose en los datos de la literatura, el valor de  $\alpha$  se considera generalmente entre 0,14 y 0,40.

Si observamos el error de estimación para los diferentes valores de  $\alpha$ , podemos afirmar que 0,2 mostró el mejor ajuste, por lo que también calculamos 0,2  $\alpha$  en nuestro presente estudio. Según varios autores, con un valor de 0,2 alfa se puede conseguir una buena aproximación de unos 250 m. Otra relación utilizada es la función logarítmica de la OMM, que tiene la ventaja sobre la fórmula de Hellmann de que no incluye una variable dependiente de la estación y de los parámetros ambientales:

$$v_h = v_{10} [0.233 + 0.656 \lg(h + 4.75)] \quad (\text{Fórmula 2})$$

El movimiento del viento aumenta a medida que se desplaza hacia arriba, en el suelo es menor, debido a la fricción de la superficie, la presencia de elementos superficiales, los edificios y la vegetación. A mayor altura, este efecto de frenado es menos perceptible. El cambio vertical de la velocidad del viento se denomina perfil del viento. El efecto de frenado de los edificios y los árboles, así como las irregularidades de la superficie y la propia fricción superficial, crean una estructura de vórtice del viento. Un tamaño de vórtice más pequeño cerca del suelo y un diámetro de vórtice más grande moviéndose hacia arriba caracterizan el movimiento del aire. Debido a la formación de vórtices, el viento no suele soplar a una velocidad constante, sino que realiza un movimiento fluctuante y oscilante. Podemos hablar de ráfagas de viento debido a la fluctuación de la velocidad del viento.

El rendimiento del viento se puede calcular a partir de la masa y la velocidad del aire que fluye a través de una superficie determinada durante un período de tiempo determinado. A partir de estos, el contenido de energía del aire se puede calcular con base en la siguiente ecuación:

$$P_{fajl.elm} = \frac{\rho}{2} * v^3$$

(Fórmula 3)

$\rho$  es la densidad del aire,  $v$  es la velocidad del viento (en m/s)

Albert Betz calculó que la eficiencia máxima teórica obtenible para las turbinas eólicas es del 59,3%, pero en la práctica estos valores son significativamente inferiores. La mayoría de los autores suelen calcular eficiencias del 30%.

Analizando el potencial eólico europeo, que se determina a una altura de 100 m sobre la superficie, podemos concluir que las zonas con mejor potencial eólico se encuentran en el norte y principalmente en las zonas costeras del continente. También se observa un potencial eólico superior a la media en las cumbres más altas de los Alpes, en la región del Egeo, en las cumbres de los Pirineos y en la costa mediterránea de Francia (Figura 4).

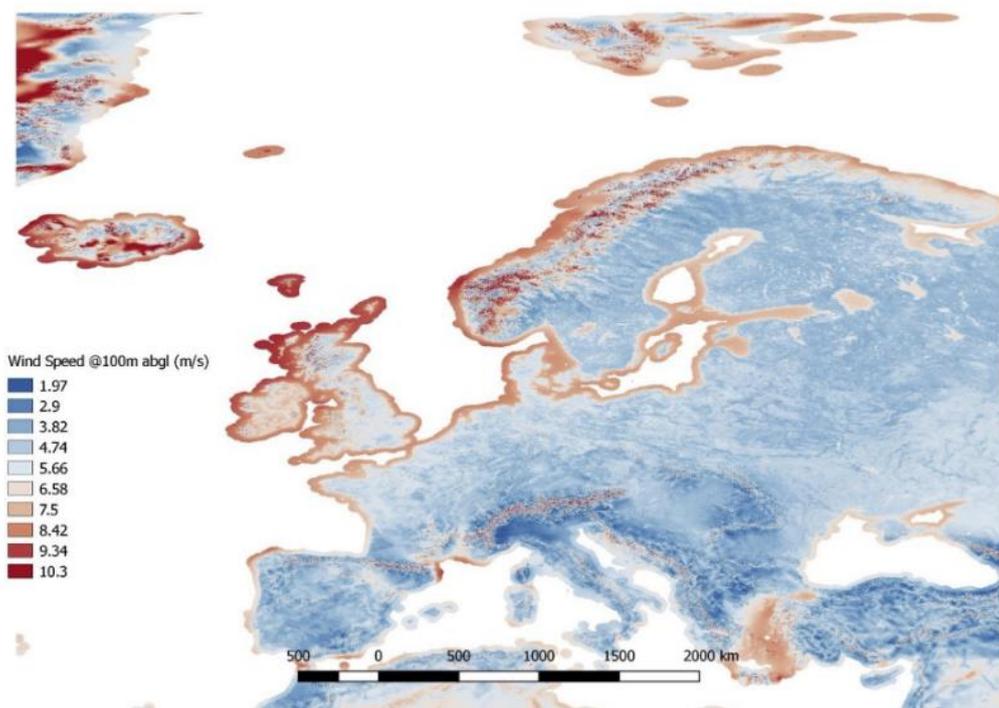


Figura 4. Velocidades medias del viento tomadas a 100 m sobre nivel de suelo.

(Fuente: The Global Wind Atlas, 2017)

El potencial de la energía eólica también es favorable en toda Europa. Las condiciones para la producción de energía eólica son especialmente favorables en la región del norte de Europa (figura 5). Este potencial favorable de energía eólica en muchos países no significa que las energías eólicas se utilicen en un grado significativo.

El hecho de que un país no tenga un potencial eólico especialmente alto no significa que la producción eólica deje de ser atractiva para la energía producida a partir del viento. En general, este país también puede producir cantidades significativas de energía utilizando el viento.

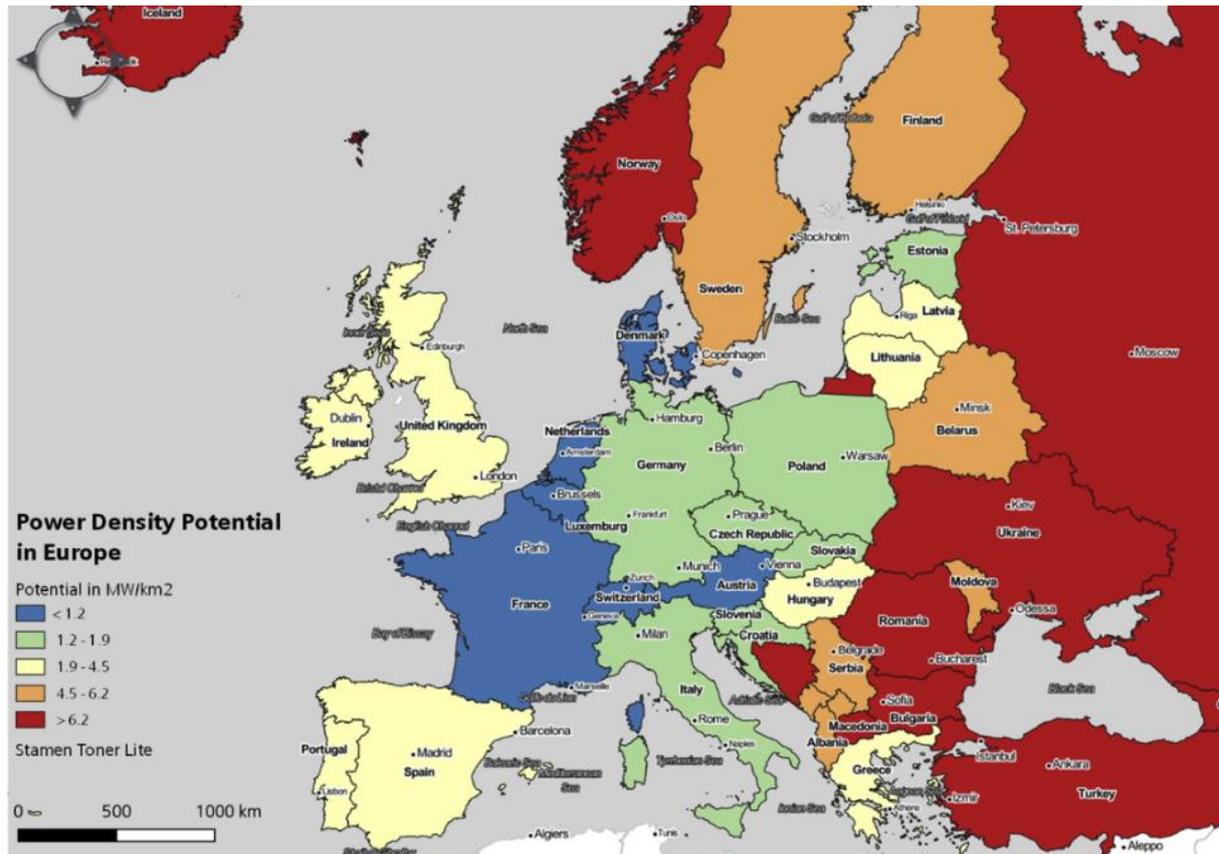


Figura 5. El potencial terrestre de la energía eólica en Europa (MW/km<sup>2</sup>)

(Fuente: Enevoldsen et al. 2019)

## Factores que reducen la eficacia del uso de la energía eólica

- A la sombra de las montañas, la velocidad del viento en los valles suele disminuir. La pendiente de los valles y la dirección del flujo de aire predominante tienen un efecto fundamental en la magnitud del potencial eólico.
- En el centro de la ciudad, las calles estrechas y con callejones reducen considerablemente la velocidad del viento.
- Las franjas de bosque, las arboledas y en las proximidades de los parques la velocidad del viento también puede reducirse considerablemente.

## Instalación de sistemas híbridos (solar + eólica)

Si las condiciones para las instalaciones solares son favorables en una determinada estación del año, es decir, durante unos meses determinados, mientras que el potencial eólico aumenta en otra estación y el solar disminuye, vale la pena considerar que la instalación de sistemas híbridos en este lugar es una solución técnica más económica (Figura 6). Por supuesto, no es un problema si ambas formas de energía

están disponibles al mismo tiempo, porque incluso en este caso aumenta la cantidad de energía que se puede producir.



Figura 6. Sistema de servicio energético híbrido (solar + eólico).

En las zonas en las que la incidencia de la nubosidad aumenta significativamente dependiendo de la hora del día o en determinadas épocas del año, se puede esperar menos energía solar durante este periodo, sin embargo, en estas zonas, la magnitud del potencial eólico suele aumentar durante dichos periodos. Por lo tanto, los sistemas híbridos permiten una producción de energía mucho más eficiente en estas regiones que la instalación de equipos sólo solares o eólicos.

La presencia de nubosidad en las zonas de confluencia, situadas a lo largo del ecuador y de la latitud 60, es significativamente más frecuente (Figura 7).

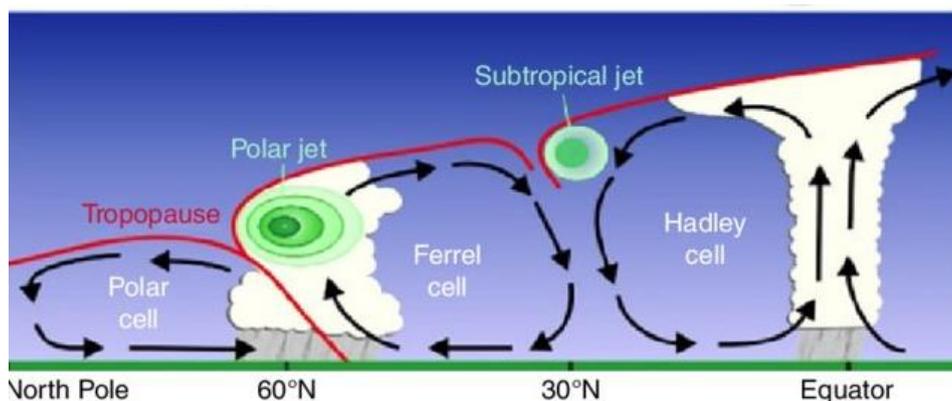


Figura 7. Patrones de circulación global del viento<sup>9</sup>.

(Fuente: Servicio Meteorológico Nacional de la NOAA, Sede de la Región Sur, Fort Worth, Texas)

<sup>9</sup> Traducción: 1. célula Hadley; 2. célula Ferrel; 3. célula Polar

En las zonas situadas a lo largo de las laderas, el llamado viento anabático<sup>10</sup> se produce a diario, por lo que cabe esperar la aparición de nubes anabáticas. Debido a la favorable exposición a la radiación, la energía solar puede producirse de forma eficiente a ciertas horas del día, especialmente por la mañana, pero a medida que las nubes anabáticas se van desarrollando durante las horas de la tarde, las condiciones para la producción de energía eólica mejoran notablemente. Por lo tanto, la forma más estable de producir energía en estas zonas es instalar sistemas híbridos (Figura 8).

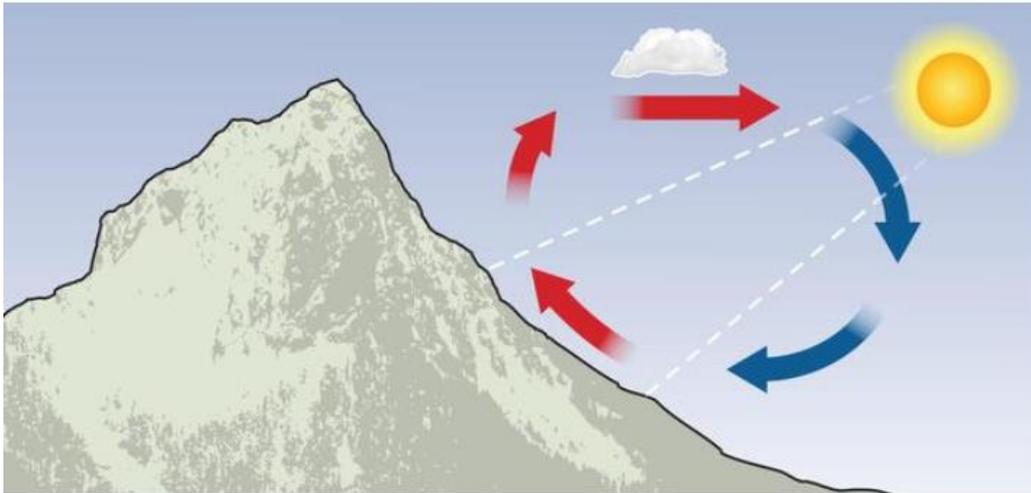


Figura 8. Formación de nubes anabáticas en una ladera expuesta al flujo de aire durante las horas del día.

En las zonas afectadas por los vientos lacustres o marinos, las condiciones para la producción de energía solar por la mañana son especialmente favorables, con la consiguiente formación de nubes de evolución.

El viento marino se debe a la diferencia de temperatura entre el océano, el mar y la tierra. Debido a su menor capacidad térmica, la tierra se calienta más rápidamente que la superficie del agua. El aire sobre la tierra calentada o en la zona costera comienza a elevarse, formando una zona de baja presión cerca de tierra firme. Como resultado, el aire frío de alta presión sobre la superficie del agua que está más fría fluye hacia la tierra. Allí se calienta y asciende. Cuando alcanza mayores alturas, se enfría, el vapor de agua que contiene se precipita y puede formarse una nube o incluso precipitaciones. El aire enfriado vuelve a fluir hacia el océano o la superficie del mar. Así se crea un bucle de circulación cerrada (Figura 9). Este proceso dura hasta que se establece el equilibrio. En este ciclo, el aire caliente y ascendente puede formar una nube. En condiciones adecuadas, pueden producirse tormentas más pequeñas a lo largo de la brisa marina.

<sup>10</sup> Viento que sopla ascendentemente por una pendiente montañosa.

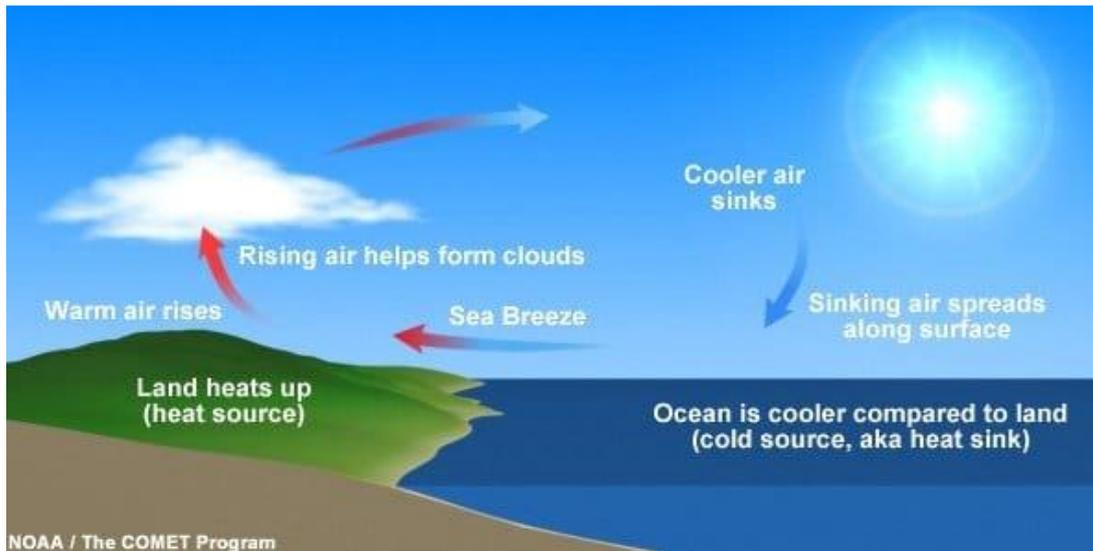


Figura 9. Ciclo de viento y formación de nubes en las costas.

Antes de que se formen las nubes por la mañana y después de que se disipen a última hora de la tarde, las zonas costeras son excelentes para producir energía solar, y en los periodos intermedios es posible producir energía eólica de forma eficiente (Figura 10).



Figura 10. La brisa marina de verano impulsa la formación de nubes sobre tierra, oeste de Francia.

Fuente: Ross Salawitch, 24 de julio de 2018

El llamado viento costero que sopla desde el continente hacia el mar por la noche hace que las zonas costeras sean especialmente adecuadas para la producción de energía eólica.

La complementariedad en la producción de energía es especialmente importante cuando se instalan sistemas híbridos. Cuando una forma de energía, como la solar, no está disponible, la otra fuente de energía, el viento, proporciona una cantidad adecuada de energía. Como el sol no brilla por la noche, una cuestión importante es si se puede producir una cantidad suficiente de energía eólica por la noche. Como la energía solar también desempeña un papel importante en la generación de energía eólica, no es de extrañar que la energía eólica del día supere la cantidad de energía eólica que puede producirse por la

noche. Al mismo tiempo, nuestros estudios también muestran que la cantidad de energía eólica que puede producirse por la noche durante los periodos diurnos más bajos (de septiembre a abril) supera la cantidad de energía solar que puede producirse durante el día (Figura 11). Esto significa que los sistemas híbridos permiten una producción de energía más eficiente que los sistemas de generación de energía solar y eólica por separado.

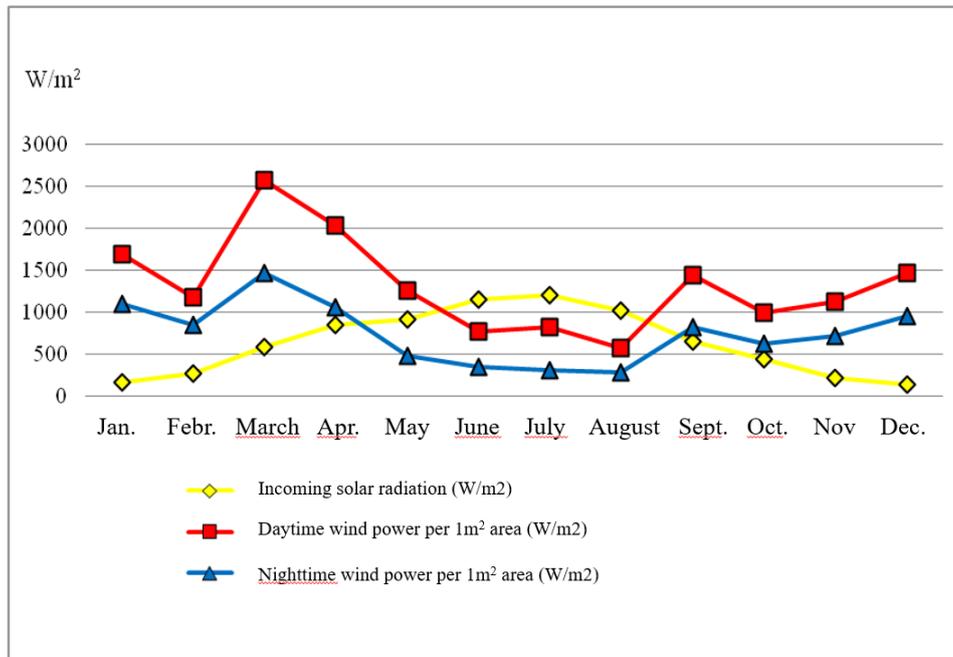


Figura 11. Distribución anual de la energía eólica a 80 m de altitud y de la radiación solar por unidad de superficie en Szolnok entre 2011-2020.

Si observamos la evolución de los rendimientos híbridos que se pueden obtener cada mes, podemos observar que el máximo se produce en marzo y el mínimo en agosto (Figura 12). Es decir, los rendimientos energéticos oscilan entre 2000 en agosto y 4500 W/m<sup>2</sup> en marzo. La cantidad de energía que se puede generar a partir del viento nocturno supera la cantidad de energía solar en el periodo de otoño a primavera, lo que significa que los sistemas híbridos suponen una producción de energía más eficiente y continua no sólo en los ciclos de producción de energía estacionales sino también en los diarios.

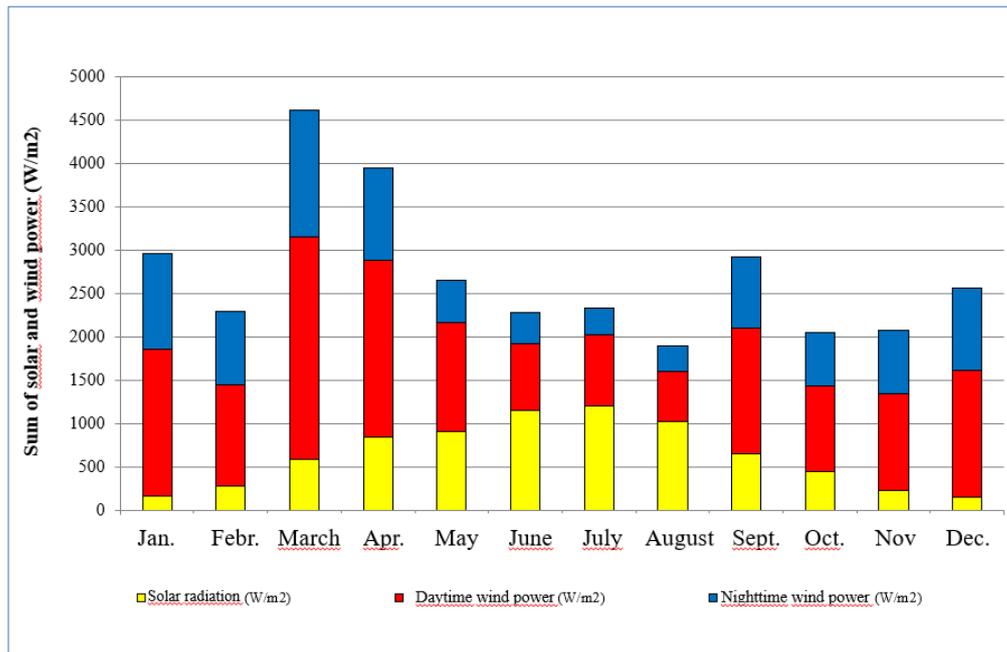


Figura 12. Distribución anual del suministro total de energía que puede extraerse de la energía solar y eólica a una altitud de 80 m, en Szolnok (2011-2020).

En muchos países europeos ya se han utilizado sistemas híbridos en las explotaciones agrícolas familiares y en los hogares, que ayudan eficazmente a reducir los costes energéticos, en muchos casos, pueden cubrir totalmente la energía utilizada.

Se sabe que los países de la costa del Mar del Norte tienen condiciones muy favorables para el uso de la energía eólica. Mucha gente cree que las cuencas de los valles no son adecuadas para generar energía eólica. Esta afirmación no es en absoluto correcta. La ubicación de estas tiene el potencial de utilizar la energía eólica. Piensa en los vientos descendentes, los vientos de valle o los vientos catabólicos. Todas ellas son oportunidades locales que se dan con gran frecuencia y que aún no se han explotado lo suficiente en las zonas de la cuenca.

Los sistemas solares utilizan mucho espacio, lo que significa que pueden ocupar una gran superficie. Las turbinas eólicas requieren menos espacio y la producción agrícola puede llevarse a cabo incluso bajo las hélices de las turbinas. En el caso de los sistemas híbridos, se puede mejorar el uso del espacio, que puede mejorarse aún más con la colocación especial de los paneles solares. Hoy en día, podemos incluso cultivar bajo sistemas de suministro de energía solar (Figura 13) (Scott, 2019).



Figura 13. Estudios sobre la agrivoltaica en Massachusetts donde están encontrando muchos cultivos que combinan bien con los paneles solares.

Aunque el módulo solar orientado al sur es el que proporciona el mayor valor de energía eléctrica para todos los ángulos seleccionados, se puede prescindir de él en algunos casos debido a su utilización polivalente. La orientación de los paneles solares es una parte importante del dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos y solares. Dado que la energía solar producida es directamente proporcional a la orientación de los paneles solares, una orientación adecuada no sólo maximiza la energía solar, sino que también reduce los costes de instalación. La orientación consta de dos parámetros: la dirección y el ángulo de inclinación.

Algunas plantas, como las judías y los pepinos, toleran bien las condiciones de semisombra y pueden cultivarse con éxito bajo la radiación dispersa. Por ello, estas plantas son especialmente adecuadas para su cultivo bajo paneles solares (Corbley, 2021) (Figura 14).



Figura 14. Granja solar de Jack - Foto de Werner Slocum: NREL

## **Anexo**

### **Glosario**

Densidad: también llamada densidad de masa volumétrica, es la masa por unidad de volumen de una sustancia. Se suele representar con el símbolo  $\rho$ . Matemáticamente, la densidad se define como la masa (m) dividida por el volumen (V):

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Circulación natural: capacidad de un fluido en un sistema para circular continuamente, debido a la gravedad, la densidad, etc.

Convección natural: movimiento del líquido que no es generado por ninguna fuente externa, sino a causa de la densidad del líquido.

Estratificación: cuando las diferentes partes se disponen en grupos separados.

Efecto sifón: un sifón es un tubo que transporta el líquido hacia arriba y hacia fuera de un recipiente situado en un nivel a un segundo recipiente situado en un nivel inferior. El efecto sifón se produce cuando la presión atmosférica empuja el líquido hacia arriba y la gravedad tira de él hacia abajo.

Termosifón: sistema en el que un refrigerante circula por convección debido a la diferencia de densidad entre las partes calientes y frías del líquido.

Viento anabático: viento que sopla ascendentemente por una pendiente montañosa.

### **Abreviaciones**

H: humedad

LED: diodo

PV: fotovoltaico

PVC: cloruro de polivinilo

T: temperatura

FP: formación profesional

Wp: Wattpeak (pico-watio)

### **Referencias, sitios web de utilidad**

Arduino tutorials as an educational resource for VET schools for digitalisation purposes:

<https://www.youtube.com/watch?v=r0KErKHxHf0>;

<https://www.arduino.cc/education/remoteteaching>

Arduino website for configuring Arduino options: <https://www.arduino.cc/>

CFFRC, 2011: <https://www.nottingham.ac.uk/biosciences/documents/community/public-talks/crops-for-the-future-may11.pdf> (latest download:08.05.2022.)

Corbley, A.: 2021: Largest Farm to Grow Crops Under Solar Panels Proves to Be a Bumper Crop for Agrivoltaic Land Use (<https://www.goodnewsnetwork.org/agrivoltaics-of-solar-power-and-farming-are-a-big-success-on-this-boulder-farm/>)

Enevoldsen, Peter; Permien, Finn-Hendrik; Bakhtaoui, Ines; Krauland, Anna-Katharina von; Jacobson, Mark Z.; Xydis, George; Sovacool, Benjamin K.; Valentine, Scott V.; Luecht, Daniel; Oxley, Gregory (2019). How much wind power potential does europe have? Examining european wind power potential with an enhanced socio-technical atlas. *Energy Policy*, 132(), 1092–1100. doi:10.1016/j.enpol.2019.06.064

European Commission (2019). Photovoltaic Geographical Information System. *Interactive Tool*. Retrieved from [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)

European Commission (2022). Photovoltaic Geographical Information System. Retrieved from [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html#PVPi](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVPi)

Free Energy Planet (2021). How Do Thermosyphon Systems Work. Retrieved from <https://www.freeenergyplanet.biz/solar-water-heater/how-do-thermosyphon-systems-work.html>

Johnson, S. K. (2019). Crops under solar panels can be a win-win. *Ars Technica*, September, 5.

KeeYess weather station Kit: <https://www.amazon.es/KeeYees-meteorol%C3%B3gica-Temperatura-Barom%C3%A9trica-Breadboard/dp/B07T2H5QXC>

Meteomanz (2022). <http://www.meteomanz.com/>

PGIS website tool: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)

Pilarska, Dominika; Beben, D.; Rak, A.; Perkowski, Z. (2018). Octahedron-based spatial bar structures - the form of large areas covers. *MATEC Web of Conferences*, 174(), 03007–. doi:10.1051/mateconf/201817403007

Solar Sena (2021). Solar Panel Orientation Calculator. Retrieved from <https://solarsena.com/solar-panel-orientation-calculator/>

Ubidots (2021). Website for reflecting values from the arduino system: <https://ubidots.com/>