



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Herramienta web para determinar la conveniencia de instalar generación renovable en el sector agropecuario

Web tool to determine the suitability of installing renewable generation in the agricultural sector

Autor

David Aguerri Sanmartín

Director

José Luis Bernal Agustín

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2017

Herramienta web para determinar la conveniencia de instalar generación renovable en el sector agropecuario

RESUMEN

Este proyecto final de carrera tiene como objetivo principal el desarrollo de una herramienta web, de acceso público, que permita al usuario obtener una estimación de la rentabilidad económica, y de la viabilidad técnica, de utilizar sistemas basados en fuentes renovables en una instalación agropecuaria aislada de la red eléctrica.

Para ello se han utilizado los medios de creación de contenido web más extendidos: HTML5, CSS3 y JavaScript (y los frameworks derivados de este: node.js y AngularJS). Así, es posible integrar el contenido, darle formato al mismo y dotarlo de comportamiento en la interacción del usuario con la herramienta.

Durante el desarrollo de la herramienta se ha tenido en cuenta que para utilizarla no fuese necesario poseer conocimientos técnicos relacionados con las instalaciones de generación de energía eléctrica basadas en fuentes renovables, siendo así su uso adecuado para un amplio grupo de potenciales usuarios.

Los resultados que proporciona la herramienta se basan en los datos de consumo que introduce el usuario y en los recursos eólicos y fotovoltaicos del lugar donde se desea llevar a cabo el estudio. Dado que algunos de estos datos pueden presentar un elevado grado de incertidumbre, los resultados deben considerarse únicamente como estimaciones sobre la posible conveniencia del uso de energías renovables.

La herramienta permite que el usuario modifique varios parámetros que pueden influir tanto en términos económicos como medioambientales en los resultados obtenidos, siendo esta característica de gran interés para los potenciales usuarios de la herramienta.

Tabla de contenidos

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. Objeto.....	4
1.2. Alcance	4
1.3. Contexto – Proyecto Life-REWIND	5
1.4. Herramientas y recursos utilizados	5
1.4.1. Herramientas y recursos para la programación Web	5
1.4.2. Recursos para la obtención de datos	7
1.5. Contenidos a exponer.....	7
2. MEMORIA.....	8
2.1. Selección del tipo de aplicación	8
2.2. Datos necesarios	8
2.3. Formulario común (localización, consumo eléctrico y tipo)	9
2.4. Formulario para instalaciones de tipo riego	13
2.5. Formulario para instalaciones de tipo granja	18
2.6. Proceso de cálculo	20
2.6.1. Estimación del consumo eléctrico en riego	20
2.6.2. Estimación del consumo eléctrico en granjas	22
2.6.3. Estimación del número de generadores de fuentes renovables.....	22
2.6.4. Estimación del coste de la instalación.....	25
2.7.- Resultados	26
BIBLIOGRAFÍA.....	32

ANEXOS

Anexo 1 – Ficha técnica de paneles fotovoltaicos

Anexo 2 – Ficha técnica de aerogenerador

Anexo 3 – Ficha técnica de baterías

Anexo 4 – Ficha técnica de inversor

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objeto

El objeto de este proyecto consiste en el desarrollo de una herramienta web que permita al usuario evaluar, de manera sencilla, la viabilidad técnica y económica de instalar generación renovable en una instalación agropecuaria.

Al usuario de la herramienta se le pide que introduzca muy pocos datos, básicamente de consumos, con el fin de que la herramienta pueda utilizarse por personas sin conocimientos sobre instalaciones de generación de energía eléctrica basadas en fuentes renovables. Así, se pretende conseguir que el usuario no abandone la herramienta a los pocos minutos tras comenzar a utilizarla, obteniendo con muy poco esfuerzo resultados numéricos y gráficos que puedan interesarle.

La herramienta proporciona estimaciones razonables, pero no diseños que permitan determinar las características exactas de una posible instalación basada en energías renovables. Sin embargo, los resultados que proporciona son coherentes con los datos de consumos introducidos por el usuario y con los recursos eólicos y fotovoltaicos del lugar, teniendo en cuenta la incertidumbre asociada a todos ellos.

1.2. Alcance

El alcance del proyecto queda definido por el objeto de este: la capacidad de ofrecer al usuario unos resultados coherentes que le permitan reflexionar sobre la posible conveniencia de utilizar energías renovables en su instalación.

Para lograrlo ha sido necesario tener en cuenta varios aspectos:

- **Presentación:** Presentar al usuario la herramienta que va a utilizar y lo que puede esperar de la misma al finalizar su uso.
- **Obtención de datos del usuario:** Para ofrecer al usuario unos resultados coherentes es imprescindible conocer unas características básicas acerca de su instalación. El dato principal a obtener es el **consumo diario de energía**, el cual, si no es conocido por el usuario, se estima.
- **Procesamiento de los datos:** El procesamiento de los datos incluye las estimaciones a realizar (si fueran necesarias), los cálculos propiamente dichos y la obtención de datos meteorológicos del lugar donde se encuentra la instalación. El procesamiento de datos ha de ser transparente para el usuario, es decir, que no requiera interacción por su parte o incluso que no requiera que sea consciente de lo que ha sucedido con la información que ha proporcionado para poder visualizar los resultados. Más adelante se expondrá la problemática de este paso y la forma en la que se ha solventado.
- **Presentación de resultados:** Junto a los resultados se muestran algunos conceptos básicos para facilitar la comprensión de las estimaciones obtenidas. Así, los resultados poseen un elevado grado de carácter didáctico, ya que junto a ellos se explican los beneficios de las soluciones propuestas, así como los parámetros utilizados en los cálculos realizados.

1.3. Contexto – Proyecto Life-REWIND

Este proyecto final de carrera se ha desarrollado como apoyo a una de las acciones del proyecto cofinanciado por la Unión Europea: “REWIND – Sistemas rentables de energía renovable de pequeña escala en la industria agroalimentaria y las áreas rurales: una demostración en el sector vitivinícola” [1].

El proyecto REWIND está integrado en el programa “Life” [2], que es el instrumento financiero de apoyo a proyectos de acción medioambiental, protección de la naturaleza y clima de la Unión Europea.

El objetivo del proyecto Life-REWIND según se indica en su web es: “El objetivo final del proyecto es demostrar que, en el sector agropecuario y en la industria rural, el uso de energías renovables es viable técnica, medioambiental y económicamente tomando como demostrador el sector vitivinícola. Adicionalmente, promover su uso como opción habitual.”

Siendo uno de sus objetivos específicos: “Desarrollar una aplicación informática de diagnóstico, de aplicación a cualesquiera casos concretos en el ámbito agropecuario.”

Como ayuda para cumplir con este objetivo específico del proyecto Life-REWIND, surge el presente proyecto. Así, con la herramienta desarrollada se han despejado varias incógnitas que van a permitir seguir trabajando con el fin de alcanzar satisfactoriamente del objetivo anteriormente indicado.

1.4. Herramientas y recursos utilizados

1.4.1. Herramientas y recursos para la programación Web

HTML5

El lenguaje HTML5 (HiperText Markup Language, versión 5) cumple la función de alojar el contenido y dar un orden en la creación y desarrollo de una página web.

Es un lenguaje muy extendido y utilizado, por eso está muy bien documentado y es fácil encontrar soluciones a los problemas y dudas que puedan surgir durante su uso.

CSS3

El lenguaje CSS3 (Cascading Style Sheets, especificación 3) se utiliza para modificar la apariencia del contenido introducido en HTML con el fin de adaptarlo a las exigencias estéticas necesarias. Al igual que el HTML5 es muy utilizado.

JavaScript

JavaScript es uno de los lenguajes más utilizados con el fin de dotar a las páginas web de funcionalidades que no se podrían conseguir únicamente con HTML y CSS. No es el único que se utiliza para la programación web, sin embargo es el que todos los navegadores web soportan por defecto. Está altamente orientado al uso en programación web en el lado cliente (es decir en la programación de aquellas utilidades que han de ejecutarse en el navegador), aunque en los últimos años se ha

empezado a utilizar ampliamente en el lado del servidor, simplificando la integración de las aplicaciones en el sistema servidor-navegador.

En el desarrollo de la aplicación web objeto de este proyecto, además de JavaScript (de ahora en adelante JS), se han utilizado dos frameworks que simplifican la tarea de definir el comportamiento que debe tener la aplicación en la interacción con el usuario.

AngularJS

AngularJS [3] es un framework basado en JS y desarrollado por Google, y que aporta una solución completa para el desarrollo de aplicaciones web en el lado cliente (navegador).

AngularJS ha sido utilizado como base para codificar la mayor parte de la aplicación, con la ayuda de este framework se gestiona de manera sencilla el cambio de vistas, la navegación interna de la página, el almacenamiento de datos aportados por el usuario, etc. En definitiva, todo el comportamiento derivado de la interacción del usuario con la herramienta objeto de este proyecto.

Además AngularJS se encarga de realizar pedidos al servidor en caso de ser necesario.

Node.js

Node.js [4] es un framework de trabajo pensado para ser ejecutado en el lado del servidor. Si bien no ofrece una solución completa a todo lo que se puede realizar en el lado del servidor, cuenta con una comunidad de usuarios muy activa que ha creado infinidad de módulos basados en él.

Node.js se ha utilizado, en este proyecto, para crear la parte del servidor de la aplicación que, además de devolver la página de inicio cuando alguien visita la página web de la aplicación, inicia la aplicación utilizando AngularJS en el lado del cliente.

La parte del servidor se encarga de gestionar la solicitud de datos meteorológicos a un servicio web externo. En el cuerpo de la memoria se expondrá de forma detallada la problemática que ello conlleva y la solución adoptada.

Brackets.io

Brackets es un editor de texto open source desarrollado por “Adobe Systems”, orientado específicamente a la programación web y a los tres lenguajes mencionados previamente: HTML5, CSS3 y JavaScript.

Metodología MVC

La metodología MVC (modelo-vista-controlador) plantea la necesidad de separar en la medida de lo posible los directorios y archivos utilizados por la aplicación a desarrollar, de forma que no se mezclen aquellos que confeccionan la vista o contenido (HTML5), los que le aportan comportamiento o controladores (archivos JS directamente unidos a la vista y que la modifican a través de la interacción con el usuario), y los que almacenan los datos que caracterizan aquello acerca de lo que trata la aplicación (modelo del mundo real). En este proyecto se ha aplicado esta metodología en la medida de lo posible. El resultado de aplicar esta metodología es un código más limpio y legible y una organización bien estructurada fácil de entender.

Google Maps

Para facilitarle al usuario la obtención de las coordenadas del emplazamiento de la instalación, se ha integrado un mapa interactivo utilizando el servicio de Google Maps.

1.4.2. Recursos para la obtención de datos

Los datos meteorológicos, que varían en función de la localización que el usuario selecciona, se han obtenido de una web de la NASA [5] (National Aeronautics and Space Administration de Estados Unidos). Dicha página web, al introducir las coordenadas geográficas, suministra los datos meteorológicos más relevantes del lugar. En el cuerpo de la memoria se explicará de manera detallada cómo se obtienen y se filtran estos datos.

Al comienzo del proyecto se estudió la posibilidad de obtener estos datos de “PVgis” [6], pero al no encontrarse una solución para llevarlo a cabo de manera sencilla y transparente para el usuario, se descartó esta opción.

El resto de los datos no facilitados por el usuario se han obtenido de estudios y publicaciones fiables o de datos técnicos de productos existentes en el mercado. Todos ellos serán referenciados en este documento.

1.5. Contenidos a exponer

En la memoria se expondrán los pasos seguidos en el desarrollo de la herramienta web así como la problemática surgida en cada uno de ellos y las soluciones adoptadas.

Finalmente se mostrará un pequeño ejemplo de uso de la herramienta y las opciones que ofrece.

2. MEMORIA

2.1. Selección del tipo de aplicación

A la hora de decidir las características básicas de la aplicación, se planteó que tenía que ser visualmente atractiva y con un manejo sencillo e intuitivo.

La decisión final fue desarrollar lo que se conoce como “Single Page Application”. Es decir, una aplicación de una única página. Esto significa que la navegación interna por la aplicación es prácticamente inexistente, no hay diferentes páginas, sino que hay una única página en la que va cambiando una parte con la información a la que va accediendo el usuario en cada una de las fases de la ejecución de la herramienta.

Con este diseño se consigue que el usuario no necesite casi instrucciones para utilizar la aplicación, ya que la estructura y la apariencia siempre son las mismas en las distintas fases de ejecución de herramienta, cambiando únicamente el contenido.

2.2. Datos necesarios

Una vez decidida la estructura de la herramienta se determinaron qué datos de entrada eran necesarios. Los datos mínimos indispensables son el consumo de energía actual y el potencial de los recursos renovables en la localización de la instalación.

Aunque estos datos no son difíciles de obtener, se planteó como objetivo que el usuario tuviese que invertir el menor tiempo posible, por lo que se detectaron dos posibles problemas:

- Puede que el usuario no conozca el consumo eléctrico de su instalación.
- Es muy probable que el usuario no conozca las coordenadas geográficas de su instalación

El primer problema se resolvió ofreciendo al usuario la posibilidad de indicar que no conocía el consumo eléctrico de su instalación, en cuyo caso se le solicitaba que aportase otros datos que seguramente sí conocía, de forma que fuese posible llevar a cabo una estimación aproximada de su consumo eléctrico.

La solución al segundo problema se muestra en el siguiente apartado.

Por lo tanto, el formulario a cumplimentar por el usuario con el fin de poder obtener unos resultados válidos, se compone de los siguientes apartados mínimos:

- Localización de la instalación.
- Consumo eléctrico de la misma o, en su defecto, cuestiones que permitan realizar una estimación.

A la hora de diseñar el formulario final se tuvo en cuenta que las instalaciones pueden ser de varios tipos. Para esta herramienta se han limitado los casos posibles a dos, y que cubren la mayor parte de los tipos de instalaciones aisladas en el sector agropecuario: instalaciones de riego de cultivos y granjas.

2.3. Formulario común (localización, consumo eléctrico y tipo)

La parte común del formulario que tienen que completar todos los usuarios es la que permite obtener la localización de la instalación y el consumo eléctrico de la misma (en caso de que este sea conocido por el usuario).

Localización

Como se ha indicado previamente es muy probable que el usuario no conozca las coordenadas geográficas de su instalación, por lo que se buscó una solución que permitiera obtener fácilmente este dato.

La solución que se implementó fue la de insertar un mapa interactivo en el que el usuario pueda buscar la localización de su instalación y con un simple click sobre el lugar se obtenga la latitud y la longitud. Para lograr esto, se usó la API de Google Maps en la parte de la herramienta correspondiente a la localización de la instalación (Figura 1), utilizando para ello JavaScript - AngularJS. El usuario puede así buscar e indicar la localización de la instalación.

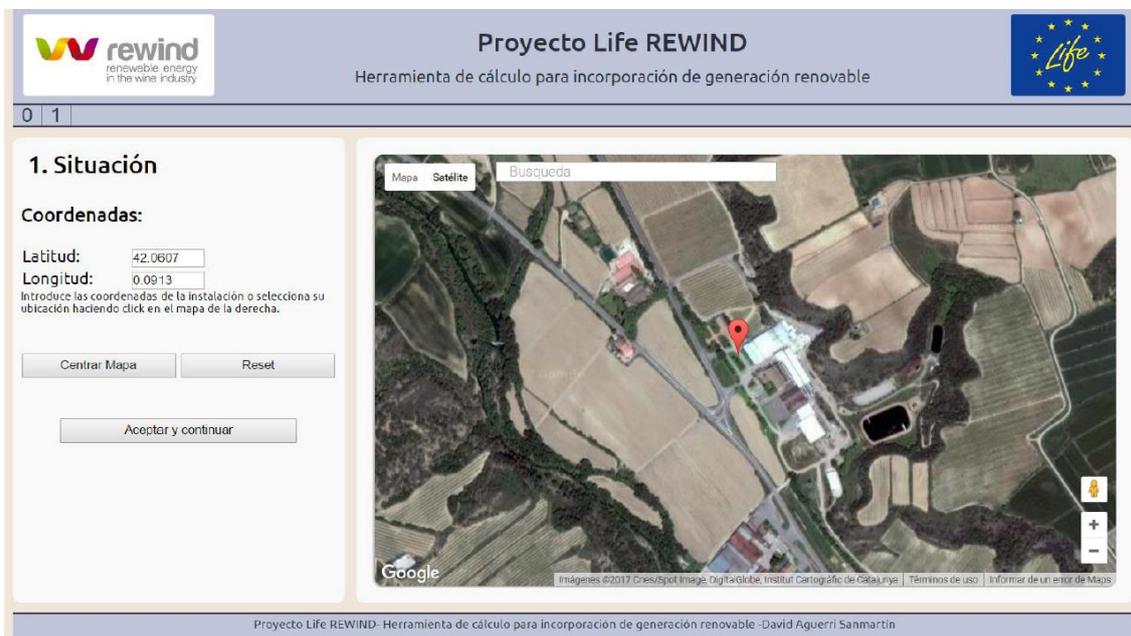


Figura 1. Mapa interactivo utilizando la API de Google Maps.

Las coordenadas seleccionadas (latitud y longitud) se muestran en unas casillas editables, de forma que si el usuario conoce esos datos puede introducirlos manualmente y centrar el mapa en la localización indicada.

De forma transparente al usuario, cuando acepta la localización seleccionada, la aplicación obtiene los datos meteorológicos del lugar de forma automática y los almacena con el fin de ser utilizados posteriormente.

Los datos meteorológicos se obtienen de las siguientes direcciones:

Radiación solar:

<https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=skip%40larc.nasa.gov&step=1&lat=42.0600&lon=0.0920&submit=Submit>

Distribución de velocidad de viento:

https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=180132&lat=41.62&submit=Submit&hgt=100&veg=17&sitelev=&email=skip@larc.nasa.gov&p=grid_id&p=swv_dwn&p=ws50_0_2&step=2&lon=-1.41

Estos enlaces, donde se han puesto en negrita la latitud y la longitud de la instalación, permiten obtener los datos meteorológicos suministrados por la NASA. En la Figura 2 se muestra la página web a la que se accede con la dirección de distribución de velocidad de viento indicada anteriormente, que corresponde a una latitud de 41.62° y una longitud de -1.41°.

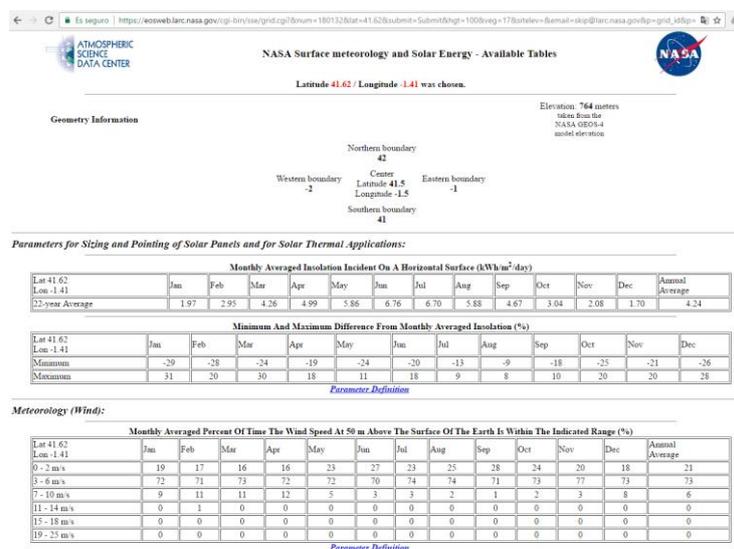


Figura 2. Web de la NASA con datos de distribución de viento.

Sin embargo, no es sencillo obtener esos datos de forma transparente para el usuario, es decir, evitar que el usuario tenga que abrir la web de la NASA y realizar un "copy-paste" de dichos datos. Esta dificultad viene dada por los protocolos de seguridad web desarrollados en los últimos años, que no permiten obtener datos de una página web desde otra página diferente que ya se está ejecutando, siendo necesario en estos casos utilizar código ejecutándose en la parte del servidor en lugar de la del cliente.

La solución que se aplicó para resolver este problema consistió en, una vez obtenidas las coordenadas de la localización, realizar un pedido al servidor de nuestra web enviándole la información. El servidor que ha sido diseñado para recibir ese pedido se encarga de construir las direcciones anteriormente mostradas (direcciones con los datos de irradiación y viento) y de realizar el pedido de datos a la página web de la NASA. A continuación se recibe el código HTML de esas direcciones, que contienen los datos necesarios e información adicional que tiene que ser filtrada con el fin de

obtener únicamente los datos de radiación solar y la distribución de velocidades medias del viento. En la Figura 3 se muestra una pequeña parte del código HTML que se obtiene y que hay que filtrar.

```
<!doctype html public "-//W3C//DTD HTML 4.0 Transitional//EN">
<html lang="en">
<head>
<title>NASA Surface meteorology and Solar Energy - Available Tables</title>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=iso-8859-1">
<meta name="description" content="A renewable energy resource web site of global meteorology and surface solar energy climatology from NASA satellite data on 1 by 1 degree resolution.">
```

Figura 3. Ejemplo de código HTML de la web de la NASA.

Una vez filtrada la información necesaria, el servidor envía estos datos a nuestra aplicación del lado cliente para que puedan ser utilizados más adelante.

Consumo eléctrico:

Una vez obtenida la localización es necesario determinar o estimar el consumo eléctrico. Antes de preguntarle al usuario qué consumo eléctrico posee su instalación, se le pregunta si lo conoce (Figura 4).



Figura 4. Consumo conocido o no conocido.

Si el usuario no elige ninguna de las posibles respuestas (Si o No), se le impide continuar. En caso de responder de manera afirmativa, se le permite al usuario introducir el consumo eléctrico de la instalación en kWh y además se le pide que indique en qué periodo de tiempo se realiza ese consumo, en un día o en un mes (Figura 5).

The screenshot shows a web application interface for 'Proyecto Life REWIND'. At the top, there is a header with the 'rewind' logo (renewable energy in the wine industry), the project title 'Proyecto Life REWIND', and the subtitle 'Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable'. A navigation bar shows steps 0, 1, 2, 3, and 4, with step 4 being the current one. The main content area is titled '4. Consumo eléctrico' and contains the following text: 'Por favor indica tu consumo eléctrico. Y las unidades en las que lo indicas.', 'Con este dato ya podemos realizar los cálculos.', and 'La respuesta seleccionada es:'. Below this, it says 'Consumo 15 kWh al día.' and there is a button labeled 'Aceptar y continuar'. To the right, there is a small image of a smart meter and some Euro banknotes. Next to it, the text reads 'El consumo es: 15 kWh'. At the bottom of the main area, there are two radio buttons: 'al día' (which is selected) and 'al mes'. The footer of the page reads 'Proyecto Life REWIND- Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable -David Aguerri Sanmartín'.

Figura 5. Consumo eléctrico y unidades.

Tipo de instalación:

Una vez obtenidos los datos meteorológicos y el consumo eléctrico, es necesario determinar el tipo de instalación: de riego o granja (Figura 6). En caso de conocer el consumo eléctrico, las instalaciones de tipo riego puede que trabajen solo de forma estacional mientras que una granja funcionará habitualmente el año completo. En el caso de no conocer el consumo, el usuario debe responder a una serie de preguntas con el fin de estimar el consumo de la instalación.



Figura 6. Selección de tipo de instalación: Riego o Granja.

2.4. Formulario para instalaciones de tipo riego

Una vez que se conoce el tipo de instalación, tanto si se conoce el consumo eléctrico como si no se conoce, se le pregunta al usuario si su instalación se utiliza durante todo el año o si por el contrario solo se utiliza durante algunos meses (Figura 7).

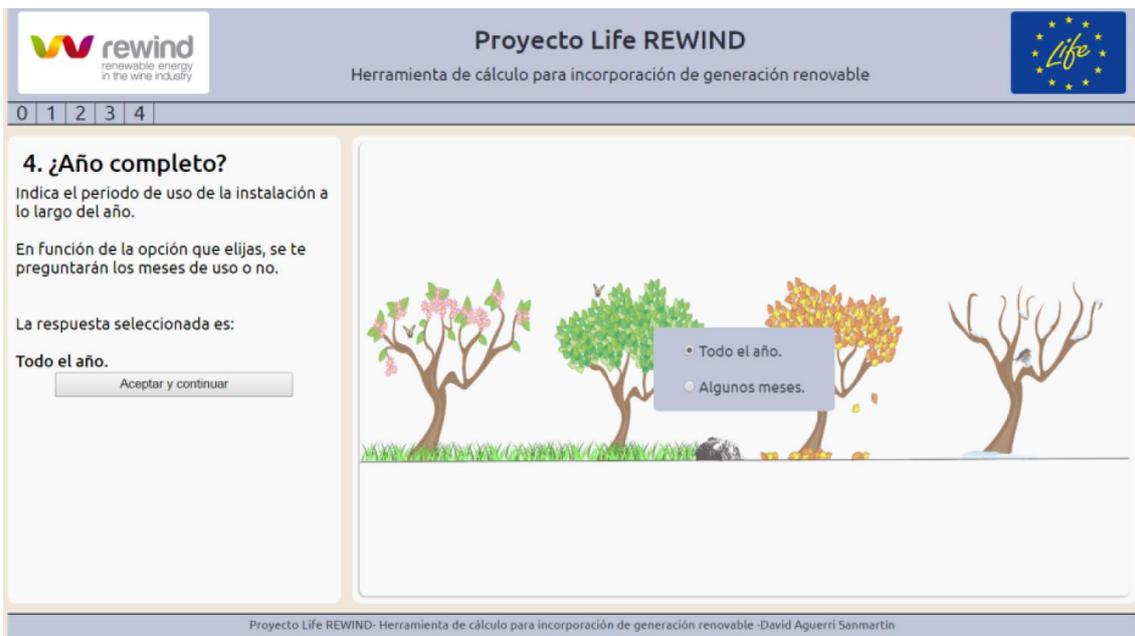


Figura 7. Selección de estacionalidad.

En caso de responder que se utiliza todo el año, si el consumo eléctrico es conocido, se habrán obtenido todos los datos necesarios para poder ofrecer resultados al usuario. En caso contrario, aparecerá una vista en la que de forma muy gráfica el usuario podrá seleccionar los meses en los que su instalación se utiliza (Figura 8).

Hay dos motivos principales para realizar estas preguntas. El primero es que una instalación que no tiene un uso continuado en el tiempo tendrá un consumo menor anual, lo que dará lugar a recomendar una posible instalación renovable con una menor inversión inicial. El segundo motivo está relacionado con el método empleado en los cálculos relacionados con la producción de electricidad mediante paneles fotovoltaicos, y que en este caso es el método del mes peor. Así, si los meses durante los que existe más consumo son los de verano, puede que el peor mes sea uno de ellos, aunque en los meses de invierno exista una menor irradiación. Esto es así porque el método del mes peor lleva a cabo el diseño de la instalación (determinación de la potencia fotovoltaica necesaria) considerando que hay que suministrar la energía necesaria a la instalación durante el mes en el que el cociente entre la irradiación y el consumo presenta un menor valor. En este caso se ha modificado ligeramente el método del mes peor para incluir la generación eólica, considerando el mes peor como aquel con menor producción de energía conjunta de solar fotovoltaica y eólica, pero el concepto básico es el mismo, lo que hace que siga siendo necesario conocer los meses de funcionamiento de la instalación.

The screenshot shows the 'Proyecto Life REWIND' web application. At the top, there is a header with the 'rewind' logo (renewable energy in the wine industry), the title 'Proyecto Life REWIND', and the subtitle 'Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable'. A progress bar below the header shows steps 0 through 6, with step 5 selected. The main content area is titled '5. Meses' and contains instructions: 'Indica el periodo de uso de la instalación a lo largo del año.' and 'Selecciona los meses en los que la instalación es utilizada. De esta manera sabemos que datos meteorológicos utilizar.' Below this, it says 'La respuesta seleccionada es:' and there is a button labeled 'Aceptar y continuar'. To the right of the text is a 3x3 grid of month buttons: Enero, Febrero, Marzo (top row); Abril, Mayo, Junio (middle row); Julio, Agosto, Septiembre (bottom row). The buttons for Abril, Mayo, and Julio are highlighted in blue, indicating they are selected. At the bottom of the page, there is a footer with the text 'Proyecto Life REWIND- Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable - David Aguerri Sanmartín'.

Figura 8. Selección de meses de uso.

Una vez seleccionados los meses de uso de la instalación, si el consumo se conoce el usuario accede a la vista con los resultados. En caso contrario, el usuario debe responder a una serie de cuestiones con el fin de estimar el consumo.

Las cuestiones que se le plantean al usuario son las siguientes:

- ¿Obtiene la instalación de riego aislada el agua bien de un pozo o de una canalización de agua a nivel del suelo (canales, acequias)?. Es evidente que la

energía que consumirá la bomba de riego será mayor si el agua proviene de un pozo a una profundidad determinada. Por lo tanto el usuario tendrá que responder si obtiene el agua de un pozo o de una canalización de agua (Figura 9).

0 1 2 3 4 5 6 7 8

8. ¿Pozo?

¿De donde obtienes el agua?

En función de la opción que elijas, se te preguntarán los meses de uso o no.

La respuesta seleccionada es:

De una canalización de agua.

Aceptar y continuar

De un pozo.
De una canalización de agua.

Proyecto Life REWIND- Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable -David Aguerri Sanmartin

Figura 9. Selección del método de obtención del agua.

- En caso de que la respuesta sea “de un pozo”, se le pedirá que introduzca la profundidad del mismo en metros (Figura 10).

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

9. Profundidad del pozo

Por favor indica la profundidad del pozo.

Con este dato podemos calcular cuanto consume la bomba para obtener el agua.

La respuesta seleccionada es:

Profundidad: 150 metros.

Aceptar y continuar

La profundidad del pozo es de 150 metros.

Proyecto Life REWIND- Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable -David Aguerri Sanmartin

Figura 10. Introducción de la profundidad del pozo.

- ¿Existe la posibilidad de que la instalación cuente con algún método para almacenar agua, cerca de los cultivos objeto del riego? De este modo, la energía necesaria para regar se reduciría considerablemente, sobre todo si el agua se obtiene de un pozo. Esto tendría un impacto positivo en la autonomía de la instalación, reduciendo la capacidad de baterías necesaria. Teniendo en cuenta que, como la propia aplicación muestra más adelante, las baterías tienen un alto impacto en la inversión inicial, se ha decidido consultar al usuario sobre el posible almacenamiento de agua (Figura 11).

rewind
renewable energy
in the wine industry

Proyecto Life REWIND
Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable

0 1 2 3 4 5 6

6. Depósito

¿Almacena agua de alguna manera?

En función de la opción que elijas, se te preguntarán los meses de uso o no.

La respuesta seleccionada es:

Si, almaceno agua.

Si, almaceno agua.
 No almaceno agua.

Aceptar y continuar

Proyecto Life REWIND- Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable -David Aguerri Sanmartín

Figura 11. Consulta sobre la existencia de almacenamiento de agua.

En caso de tener algún medio de almacenamiento, el usuario deberá introducir la capacidad del mismo, pudiendo hacerlo en litros o en metros cúbicos (Figura 12).

rewind
renewable energy
in the wine industry

Proyecto Life REWIND
Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable

0 1 2 3 4 5 6 7

7. Capacidad del depósito

Por favor indica la capacidad de tu depósito y las unidades en las que lo indicas.

Con este dato podemos calcular cuanto tiempo puedes pasar sin bombear agua.

La respuesta seleccionada es:

Consumo 10 m³.

Aceptar y continuar

La capacidad del depósito es de: 10

litros (l) metros cúbicos (m³)

Proyecto Life REWIND- Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable -David Aguerri Sanmartin

Figura 12. Capacidad del depósito y unidades.

- ¿Qué método de riego se utiliza? El método de riego puede afectar en gran medida al consumo de la instalación, ya que no consume la misma energía, por ejemplo, el riego por aspersión que el riego por goteo. El usuario deberá seleccionar una de tres posibles respuestas: aspersión, goteo y canales abiertos o inundación (Figura 13). En el apartado de cálculos se mostrarán los valores numéricos de consumo asociados a cada una de las tres opciones.

rewind
renewable energy
in the wine industry

Proyecto Life REWIND
Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10. Método de riego

¿Que método de riego utilizas?

La respuesta seleccionada es:

Goteo

Aceptar y continuar

Aspersión.
 Goteo.
 Canales abiertos o inundación.

Proyecto Life REWIND- Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable -David Aguerri Sanmartin

Figura 13. Selección del método de riego.

- ¿Cuál es el consumo de agua? La última pregunta para poder estimar el consumo de una instalación de riego es el consumo de agua. El usuario deberá introducir la el consumo en litros al día o en metros cúbicos al día (Figura 14).

Proyecto Life REWIND
Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11

11. Consumo de agua

Por favor indica el consumo de agua de tu instalación y las unidades en las que lo indicas.

Con este dato podemos calcular cuanto consume la bomba de agua.

La respuesta seleccionada es:

Consume 3750 l de agua al día.

Aceptar y continuar

El consumo de agua es de:

litros (l) al día. metros cúbicos (m³)al día.

Proyecto Life REWIND- Herramienta de cálculo para incorporación de generación renovable -David Aguerri Sanmartin

Figura 14. Introducción del dato de consumo de agua y unidades.

2.5. Formulario para instalaciones de tipo granja

Al contrario de lo que ocurre con las instalaciones de tipo riego, una granja no suele tener un consumo estacional, por lo tanto, no es necesario preguntar al usuario por los meses de uso.

Si el usuario ha introducido previamente su consumo eléctrico, entonces ya se conocen todos los datos necesarios para poder mostrarle los resultados, de lo contrario, será necesario estimar su consumo. Para estimar el consumo de una granja de forma genérica, debido a la variabilidad que puede existir incluso entre las instalaciones que se dediquen a una misma actividad ganadera, se consideró inviable ofrecer al usuario la posibilidad de estimarlo de forma detallada. Por ello se optó por utilizar datos típicos de consumo por número de animales y actividad ganadera, siendo necesario únicamente conocer el tipo de animal, la actividad ganadera y el número de animales.

Una granja puede ser de muchos tipos. En la herramienta se han considerado los cuatro más habituales.

Así, el usuario puede elegir entre los siguientes tipos de granjas (Figura 15):

- Gallinas ponedoras.
- Vacas lecheras.
- Ovejas lecheras.
- Cría de cerdos.



Figura 15. Selección de tipo de granja.

Se considera que con estas opciones está cubierta la mayoría de las granjas que puedan existir en el territorio español y el europeo, y en otros casos será similar a una de las cuatro.

En función de la selección del usuario la aplicación utilizará un dato u otro para estimar el consumo eléctrico de la granja.

Una vez se conoce el tipo de granja, es necesario conocer el número de animales. Para ello se le solicita al usuario que introduzca dicho número (Figura 16).

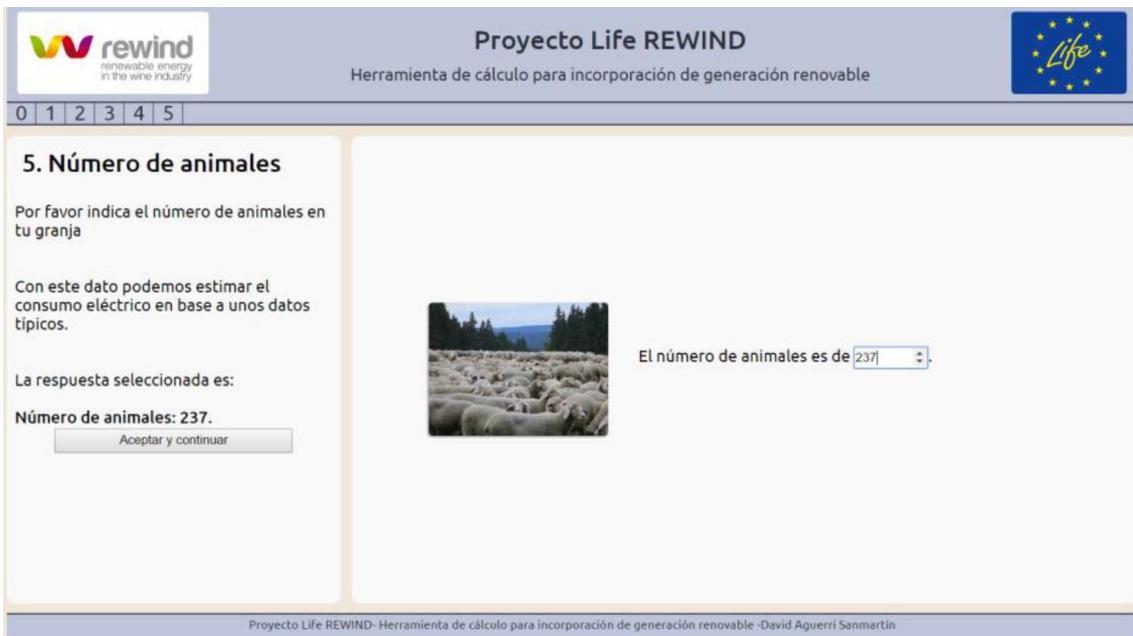


Figura 16. Introducción del dato de número de animales.

Con estos datos se puede realizar una estimación del su consumo, siendo ya posible visualizar los resultados que proporciona la aplicación.

En la siguiente sección se expondrá el proceso de cálculo que realiza la aplicación.

2.6. Proceso de cálculo

Como se mencionó el comienzo de esta memoria, los datos necesarios para poder estimar el tamaño de la instalación generadora de electricidad basada en fuentes renovables, así como los aspectos económicos, energéticos y medioambientales asociados a dicha instalación, son los siguientes:

- Datos meteorológicos de la ubicación.
- Consumo eléctrico.

2.6.1. Estimación del consumo eléctrico en riego

A continuación se expone el método utilizado para la estimación de consumo si el usuario no lo ha especificado.

El documento básico al que se hará referencia en numerosas ocasiones a la hora de aplicar coeficientes y datos típicos es el “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red PCT-A-REV-febrero 2009” [7] publicado por el IDAE [8].

Estimación en instalaciones de tipo riego

El consumo eléctrico de este tipo de instalaciones, generalmente, se debe de forma exclusiva al consumo de la bomba de agua.

El consumo de la bomba de agua dependerá los siguientes parámetros:

- H_{est} - Diferencia de altura a salvar.
- H_{perd} – Pérdidas de carga.
- H_{metodo} – Presión requerida por el método.

Todas ellas expresadas en metros de columna de agua (m.c.a.) o, simplemente, en metros.

La diferencia de altura a salvar se corresponde con la profundidad del pozo indicada por el usuario.

Si bien el IDAE se especifica para la altura de un pozo dos componentes, una de ellas es de cálculo experimental mediante mediciones *in situ*, por lo que se desprecia ese término ya que además no afecta de forma relevante al resultado final. En el mismo documento del IDAE se hace referencia a las pérdidas por fricción, las cuales no deben ser superiores al 10% de la altura total. De nuevo, con el objetivo de simplificar la herramienta para el usuario, se aplicará directamente la peor situación posible y se considerará un 10% de pérdidas.

El último término corresponde a la altura de presión requerida típicamente por cada método de riego.

Para la estimación de estos datos se consultó la publicación de “Practical Action”: “Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica” [9]. En dicho documento se indican unos valores tipo de 0.5-1, 10-20 y 1-2 metros de presión necesarios para los métodos de riego de canales abiertos, aspersion y goteo, respectivamente.

Además, se consultó a un experto en la materia de la empresa “Viñas del Vero”, colaboradora del proyecto REWIND. Esta persona proporcionó el valor de 20 m como la altura de presión mínima para hacer funcionar sus instalaciones de riego por goteo.

Tomando en cuenta los valores de la publicación, referidos a instalaciones de pequeño tamaño principalmente, y la información suministrada por el experto, referido a instalaciones de gran tamaño como son los campos de vid de Viñas del Vero, y con el fin de simplificar el uso de la aplicación, se optó por utilizar unos valores proporcionados por la aplicación. Para estimar esos valores se le dio más peso al valor aportado por el experto, ya que hace referencia a instalaciones reales y en uso.

De esta forma, manteniendo un orden similar al mostrado por la publicación consultada [9], se aumentaron los valores de la misma hasta acercarse al valor experimental.

Los valores aplicados finalmente son:

- Aspersión – 30 metros
- Goteo – 15 metros
- Canales abiertos o inundación – 5 metros.

Conocidos por tanto todos los valores, que afectan al consumo de la bomba y el consumo de agua, se puede calcular la energía que esta consume diariamente como:

$$\text{Consumo} = g \cdot \rho \cdot V \cdot (Hes \cdot 1,1 + Hmetodo) \text{ Julios}$$

Donde

- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (Constante gravitatoria)
- $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ (Densidad del agua)
- $V =$ consumo de agua diario en m^3

A este consumo diario habría que aplicarle la eficiencia de la motobomba para obtener el consumo de energía eléctrica.

El dato a utilizar es el propuesto en el documento de Practical Action previamente mencionado para un buen sistema bomba-regulador, que es de 0,7.

Además se cambian las unidades (de Julios a kWh).

La ecuación final que convierte los datos de entrada en el consumo diario de la instalación de riego, en kWh, es:

$$\text{Consumo real} = \frac{g \cdot \rho \cdot V \cdot (Hes \cdot 1,1 + Hmetodo)}{0,7 \cdot 3600000} \text{ kWh}$$

2.6.2. Estimación del consumo eléctrico en granjas

Tal y como se ha comentado previamente, la estimación para este tipo de instalaciones, debido a la complejidad que supone, se ha simplificado al máximo recurriendo a otros estudios publicados en artículos técnicos especializados.

Para las granjas avícolas el consumo ha sido obtenido del proyecto fin de carrera: “Estudio de la aplicación de instalaciones fotovoltaicas en granjas avícolas” [10].

- Granjas de gallinas ponedoras: 0,0034kWh/gallina y día

Para las granjas de vacas lecheras el consumo ha sido obtenido del artículo técnico: “Caracterización del consumo eléctrico en las granjas de vacuno lechero de Castilla y León” [11].

- Granjas de vacas lecheras: 1,41 kWh/vaca y día

Para las granjas de ovejas lecheras el consumo ha sido obtenido del artículo técnico: “Consumo eléctrico en granjas de ganado ovino lechero de Castilla y León” [12].

- Granjas de ovejas lecheras: 0,072 kWh/oveja y día

Para las granjas de cría de cerdos el consumo ha sido obtenido de la publicación: “Consumo de energía en las explotaciones porcinas” [13].

- Granjas de cría de cerdos: 0,052 kWh/cerdo y día

En este último caso, el valor de consumo no se ha obtenido directamente, sino que se han tomado los valores medios de los rangos ofrecidos por el estudio al que hace referencia la publicación.

Una vez conocidos estos datos, y habiendo aportado el usuario el número de animales, la obtención del consumo diario se puede calcular mediante:

$$\text{Consumo} = C_{\text{tipo}} \cdot N_{\text{animales}} \text{ kWh}$$

2.6.3. Estimación del número de generadores de fuentes renovables

Una vez conocido el consumo diario para cualquier caso posible que introduzca el usuario, es necesario conocer la capacidad de generación renovable disponible, que estará determinada por los datos meteorológicos obtenidos de la NASA para el lugar donde se ha indicado que estará la instalación.

Para ello es necesario estimar la producción diaria de una unidad de generación (una placa fotovoltaica y un aerogenerador). Los datos utilizados en los cálculos corresponden a un modelo comercial de cada tipo (panel fotovoltaico y generador eólico), que se utilizarán como unidad de generación [14] [15].

Los datos principales de ambos productos comerciales son:

Panel fotovoltaico:

$$\text{Área útil} = 1,7\text{m}^2$$

$$\text{Eficiencia} = 0,2$$

$$\text{Precio} = 330 \text{ €/panel}$$

Aerogenerador:

Curva de potencia disponible en la ficha técnica en los anexos [15].

Precio = 500 €/unidad

Para los doce meses del año se calcula la producción media diaria mensual de energía de un panel y un aerogenerador.

Para estimar la generación del panel fotovoltaico se dispone de radiación media diaria total por metro cuadrado (kWh/m²-día) de cada mes, por tanto la energía diaria producida por un único panel en cada mes se puede calcular mediante la ecuación:

$$P_{diaria} = Rad \cdot E_{panel} \cdot A_{panel} \text{ kWh}$$

Donde E_{panel} y A_{panel} son la eficiencia y el área del panel seleccionado, respectivamente.

Para obtener la energía diaria producida por el aerogenerador es necesario utilizar la curva de potencia del modelo seleccionado y los datos de distribución de velocidad media diaria (m/s). Estos datos representan el porcentaje de tiempo, respecto de las 24 horas del día, que el viento se encuentra dentro de un determinado tramo de velocidad de viento.

Los tramos considerados son: 0-2, 3-6, 7-10, 11-14, 15-18 y 19-25 m/s.

El aerogenerador seleccionado solamente puede generar energía en los tramos 3-6, 7-10 y 11-14. Los tramos con velocidades inferiores no alcanzan la velocidad mínima de arranque de la turbina, y a velocidades superiores la turbina se detiene por motivos de seguridad.

Para poder utilizar estos datos de viento con la curva de potencia, se consideran los puntos medios de cada tramo, que son 4'5, 8'5 y 12'5 m/s, para los que la curva de potencia indica que el aerogenerador genera 50, 140 y 400 W, respectivamente.

Multiplicando esos valores por el porcentaje de horas que les corresponde y por las 24 horas del día, se obtiene la producción diaria del aerogenerador en cada mes:

$$P_{diaria} = (\%_{3-6} \cdot 0,05 + \%_{7-10} \cdot 0,14 + \%_{11-14} \cdot 0,4) \cdot \frac{24}{100} \text{ kWh}$$

Una vez conocida la unidad mínima de producción en cada mes, se ha de seleccionar el mes de cálculo. Se selecciona el mes peor como aquel en el que la producción conjunta de un generador de cada tipo sea la mínima:

$$P(\text{Mes Peor}) = \text{Min}[P_{sol} + P_{eol}]_i \text{ para } i = \text{meses seleccionados}$$

Una vez seleccionado el mes de cálculo, es necesario decidir qué porcentaje de la producción necesaria se cubre con fotovoltaica y cuánto con eólica.

Para tomar esta decisión, se calculará la ratio de producción de energía por euro invertido, que tiene esta forma:

$$\text{Ratio} = \frac{\frac{Prod_{sol}}{P_{sol}}}{\frac{Prod_{sol}}{P_{sol}}}$$

Donde:

$Prod_{eol}$ – Producción eólica diaria de un aerogenerador en el mes de cálculo en kWh.

P_{eol} – Precio de un aerogenerador en €

$Prod_{sol}$ – Producción solar diaria de un panel en el mes de cálculo en kWh.

P_{sol} – Precio de un panel en €

De esta forma se compara de forma numérica qué tecnología produce energía a menor coste.

El criterio utilizado para cubrir la producción con una tecnología o con otra tiene en cuenta los beneficios que suponen la mezcla de ambas, ya que se complementan porque los días y/o meses de mayor producción eólica suelen ser los de menor producción solar, y viceversa, favoreciendo la autonomía de la instalación y siendo así posible reducir la capacidad de baterías necesaria.

Por otro lado, se favorece la tecnología solar fotovoltaica al generar unos costes de mantenimiento menores y presentar menos inconvenientes, en general, que la generación eólica.

El criterio seleccionado en función de la ratio es el siguiente:

Ratio < 0,85	→ Solar 100%	Eólica 0%
0,85<Ratio < 1,10	→ Solar 75%	Eólica 25%
1,10 <Ratio < 1,25	→ Solar 40%	Eólica 60%
1,25<Ratio < 1,75	→ Solar 55%	Eólica 45%
1,75<Ratio < 2,00	→ Solar 25%	Eólica 75%
2,00<Ratio	→ Solar 0%	Eólica 100%

Para calcular el número de generadores necesarios de cada tipo se aplican los porcentajes anteriores sobre el consumo diario, mayorado con un coeficiente de 1,2 con el fin de garantizar el suministro.

En primer lugar se determina el número de generadores eólicos y se redondea el número a la baja, excepto si el 100% se produce con eólica, en cuyo caso se redondeará a la alza.

La energía restante se cubrirá con energía solar fotovoltaica redondeando al alza el número de paneles fotovoltaicos necesarios.

Siguiendo este método, si las necesidades energéticas se cubren al 100% con un solo tipo de producción, existe la posibilidad de que el mes de cálculo seleccionado no sea el más desfavorable para ese método de generación aunque si lo sea en conjunto. Por ejemplo, si el mes de cálculo es octubre porque la producción eólica es muy baja y la producción conjunta resultante es la menor del año, pero, el criterio utilizado devuelve una solución 100% solar, es muy probable que para la solución seleccionada el mes peor no sea octubre sino diciembre o enero, quedando esos meses no cubiertos si la instalación se diseña para las necesidades y la producción energéticas de octubre.

Si esto sucede, se vuelve a calcular la ratio antes mencionada para el nuevo mes peor. Si el criterio se mantiene, ese será el nuevo mes de cálculo, si el criterio varía y es más rentable instalar una producción combinada, se volverá al mes de cálculo inicial, pero se forzará un reparto 75%-25% (75% para la tecnología más rentable) y se aumentará el coeficiente de mayoración de la energía mínima necesaria de 1,2 a 1,3.

De esta manera se asegura, con casi total certeza, cumplir con el consumo diario en todos los meses de uso de la instalación.

2.6.4. Estimación del coste de la instalación

Una vez seleccionada una solución lo más rentable posible y viable técnicamente, se realizan los cálculos económicos.

El ahorro resultante de la instalación de sistemas de generación basados en energías renovables consiste en el combustible no consumido. Se considera que el combustible utilizado es gasóleo en todos los casos. El ahorro anual que supone la nueva instalación de energías renovables se calcula multiplicando el precio del diésel por el número de días de funcionamiento al año de la instalación, que se calcularán multiplicando por 30 el número de meses seleccionados.

El precio del diésel se actualiza con una tasa del 5% interanual, siendo actualmente el precio del gasóleo B de 0,835 €/litro.

La conversión de energía de grupos electrógenos en el mercado es, aproximadamente, de 0,4 litros de gasóleo por kWh generado.

Para completar los cálculos económicos es necesario conocer el coste total de la instalación, para lo que será necesario conocer el coste de las baterías y del inversor.

Para calcular el coste de las baterías se considera una autonomía mínima de la instalación de 3 días con el fin de asegurar que nunca falte suministro de energía eléctrica. Si el usuario no conoce el consumo de su instalación de riego e indica que posee un depósito de agua, se descontará a la autonomía de 3 días el cociente de la capacidad del depósito y el consumo de agua.

Si la opción “Mantener generador diésel” está seleccionada y el usuario recalcula los resultados, la autonomía será de 0,5 días.

Finalmente, el precio de las baterías se ha establecido en base a un modelo de baterías comercial [16], siendo aproximadamente de 125 €/kWh de almacenamiento.

También se calcula el precio del inversor. Para dimensionar el inversor se consideran los dos tipos de generador y se calcula la potencia que generan en condiciones ideales:

- Panel fotovoltaico: Con una irradiación de 1000 W/m² y las características técnicas del modelo seleccionado, la potencia generada será de 0,34 kW.
- Aerogenerador: El punto de máxima potencia en la curva de potencia del aerogenerador es de 0,5 kW.

Con estos datos y el número de generadores de cada tipo que previamente se ha determinado, se dimensiona el inversor.

El precio del inversor por kWp de potencia se obtiene de la misma manera que con las baterías, es decir, considerando el precio de un modelo comercial. En este caso de 300 €/kW [17].

La inversión total en aerogeneradores y paneles fotovoltaicos se calcula multiplicando el número de los mismos multiplicado por el precio indicado para cada uno de ellos.

2.7.- Resultados

Tras el proceso de cálculo descrito anteriormente, se le muestra los resultados obtenidos al usuario.

Por defecto, en la pantalla de resultados se muestran los datos meteorológicos utilizados, tanto de irradiación solar como de distribución de velocidades de viento (Figura 17 y Figura 18).

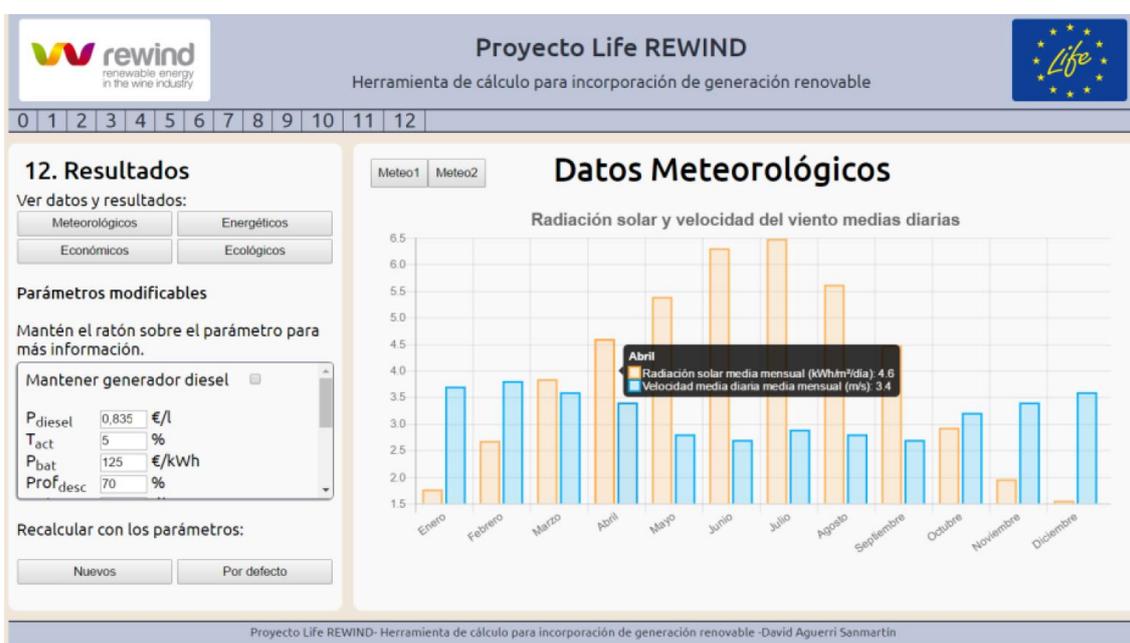


Figura 17 Visualización de datos meteorológicos 1 (Radiación y velocidad del viento medias).

El usuario tiene la opción de cambiar la vista entre los datos meteorológicos, resultados energéticos, resultados económicos y resultados ecológicos.

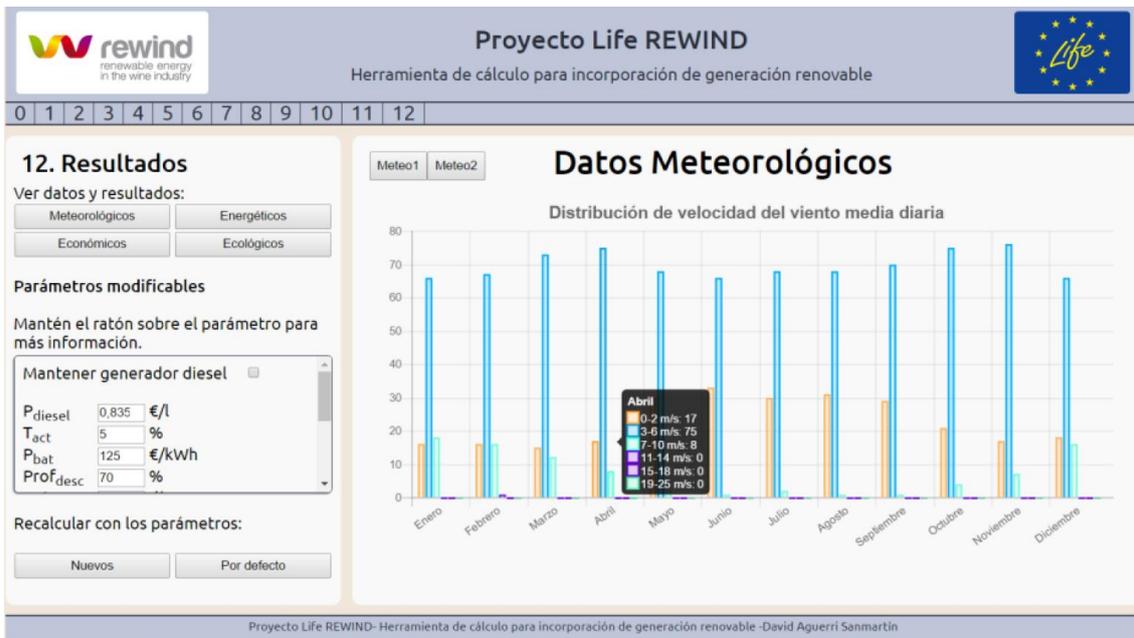


Figura 18 Visualización de datos meteorológicos 2 (Distribución de velocidad de viento media).

En la vista de resultados energéticos (Figura 19) se le muestra su consumo diario, el número de generadores de cada tipo que componen la solución propuesta por la aplicación y un gráfico de sectores circulares que representa el porcentaje de energía cubierto con cada tecnología de producción en el mes de cálculo.

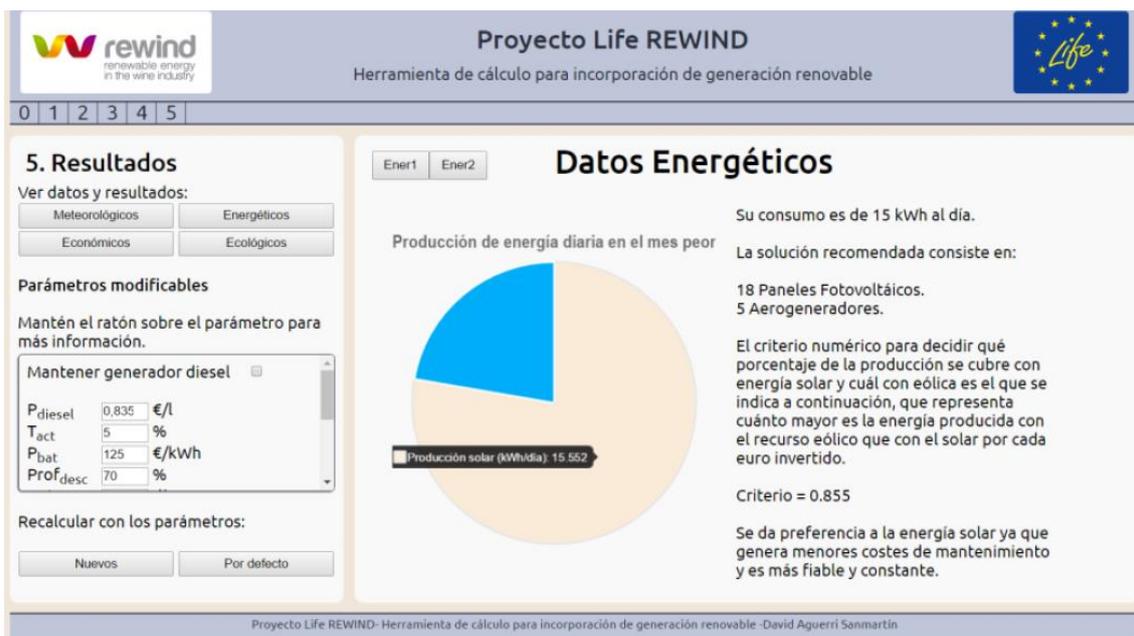


Figura 19 Visualización de datos energéticos 1 (Solución recomendada).

En una segunda vista de resultados energéticos (Figura 20) el usuario puede ver la cantidad de energía generada con las dos tecnologías según la solución propuesta en todos los meses del año.

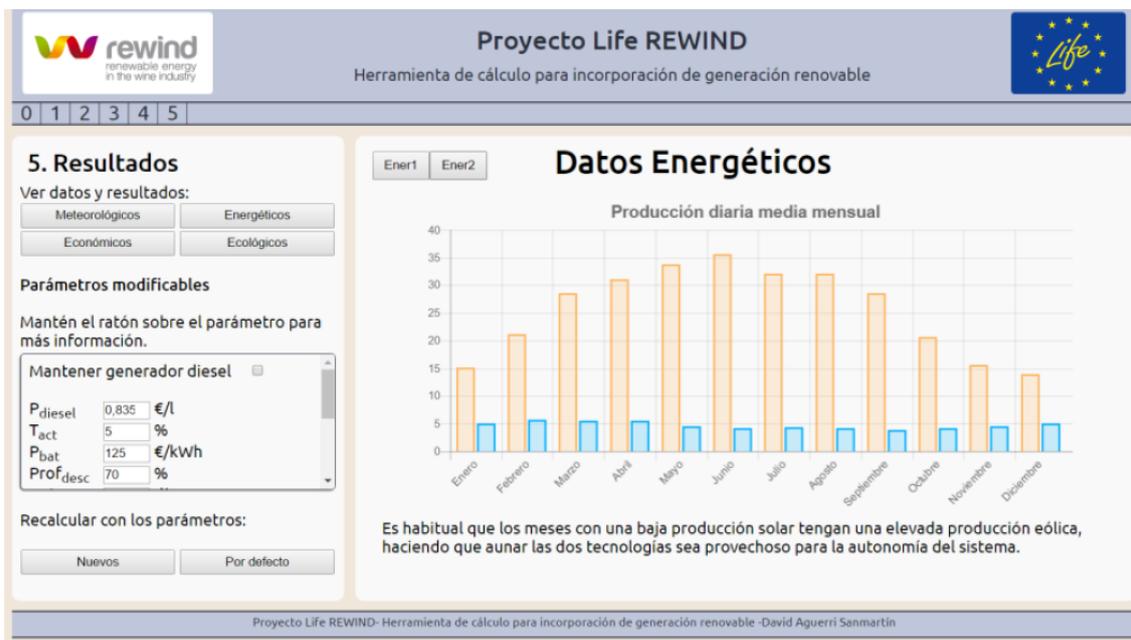


Figura 20 Visualización de datos energéticos 2 (Producción de energía media diaria por mes).

También se le presenta al usuario la ratio de energía producida por euro invertido y se le explica lo que significa.

En la vista de resultados económicos se le muestra un gráfico en el que se indica la inversión total a realizar y el ahorro anual acumulado, representando de forma gráfica el payback o tiempo de retorno (Figura 21).

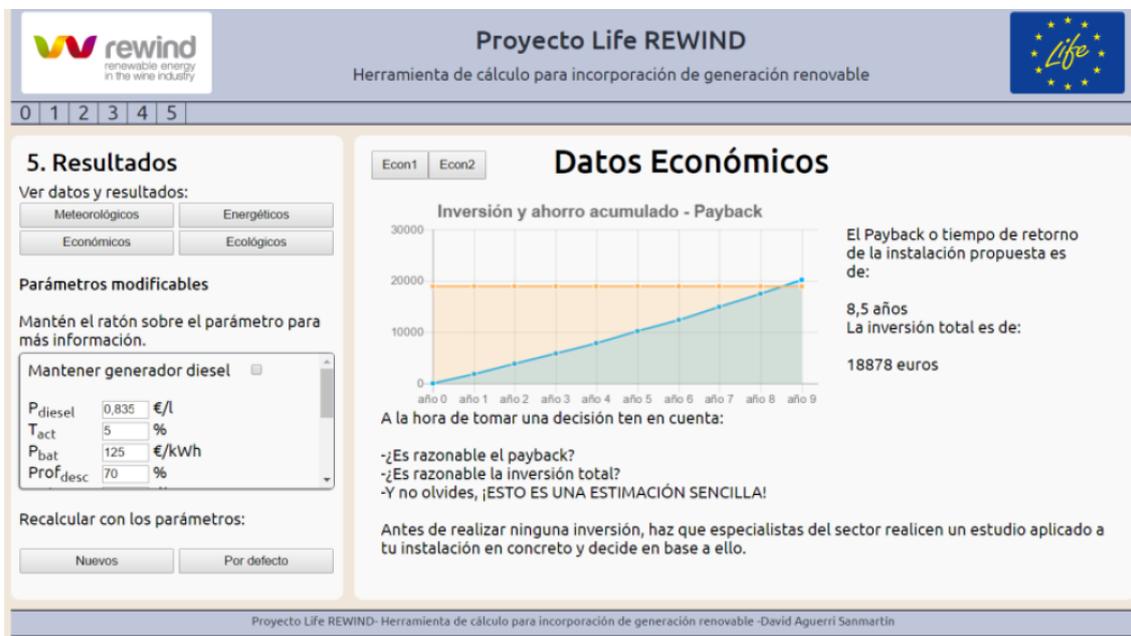


Figura 21 Visualización de datos económicos 1 (Inversión, ahorro y payback).

También se le ofrecen unos consejos acerca de cómo valorar si merece la pena instalar generación renovable y se le recuerda que los cálculos realizados son únicamente una estimación aproximada y que no son válidos para proceder al diseño de una instalación.

En la segunda vista de resultados económicos (Figura 22) se le muestra al usuario la inversión a realizar por cada componente de la instalación de energías renovables, mostrando de forma gráfica el peso que tiene cada componente en el coste total. Se hace mención al peso que tiene el coste de las baterías respecto del total y se propone una solución para paliar esta situación, que consiste en utilizar un generador diésel con el fin de cubrir los periodos en los que se produzca un bajo valor de generación renovable.



Figura 22 Visualización de datos económicos 2 (Inversión pormenorizada).

En la vista de resultados ecológicos se muestra la cantidad de CO₂ que emite la instalación en la actualidad y se compara de forma gráfica con las emisiones que tiene un vehículo diésel que recorre 25000 kilómetros. En esta vista (Figura 23) se explica brevemente la importancia de reducir las emisiones de CO₂ por su relación con el calentamiento global.

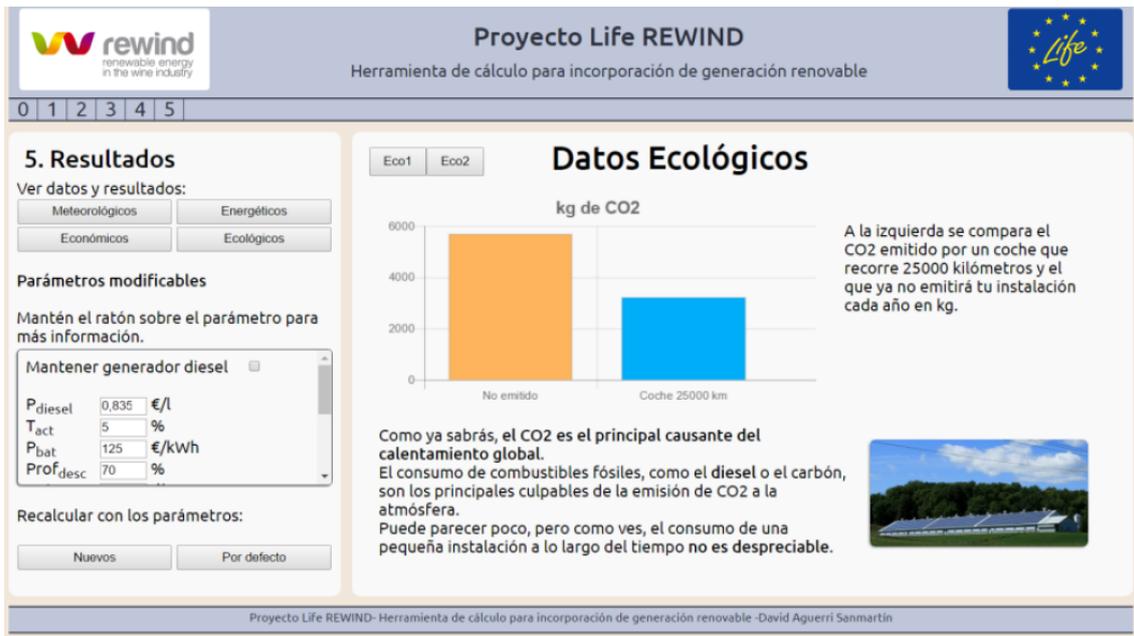


Figura 23 Visualización de datos ecológicos 1 (Emisiones).

En la segunda vista de los resultados ecológicos (Figura 24) se habla de la energía sobrante de la instalación en los meses de alta producción renovable y los posibles usos que se le pueden dar.

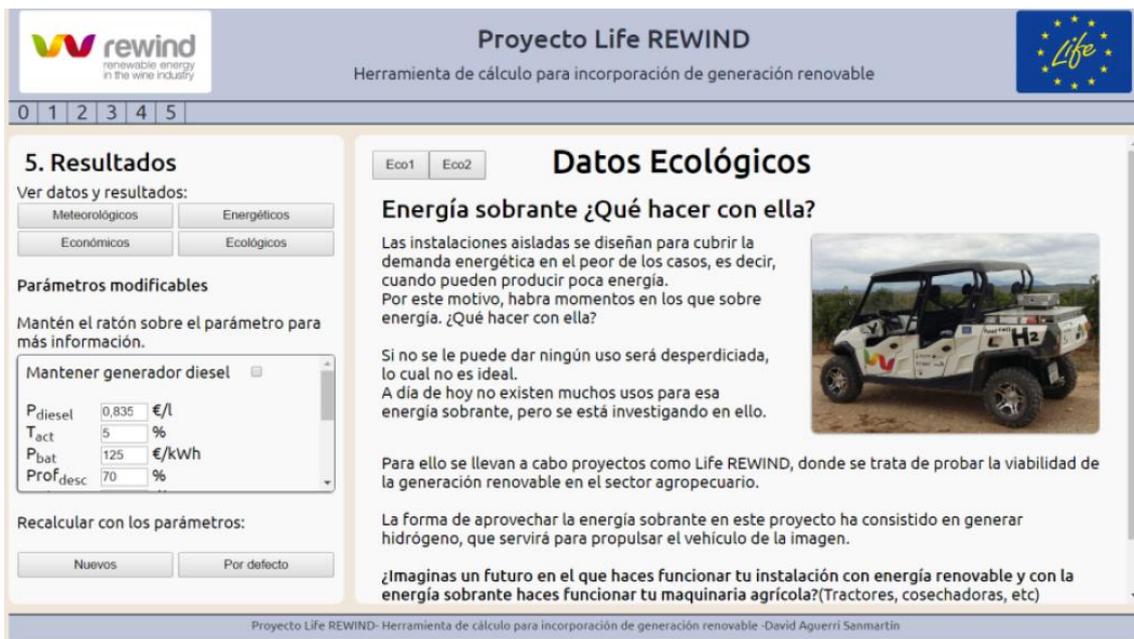


Figura 24 Visualización de datos ecológicos 2 (Energía sobrante).

En cualquiera de las vistas de resultados, el usuario, tiene la posibilidad de modificar los parámetros que aparecen a la izquierda y volver a realizar los cálculos y visualizar los nuevos resultados.

De esta manera, puede analizar la importancia de cada uno de esos parámetros en la instalación de energías renovables y sacar conclusiones al respecto.

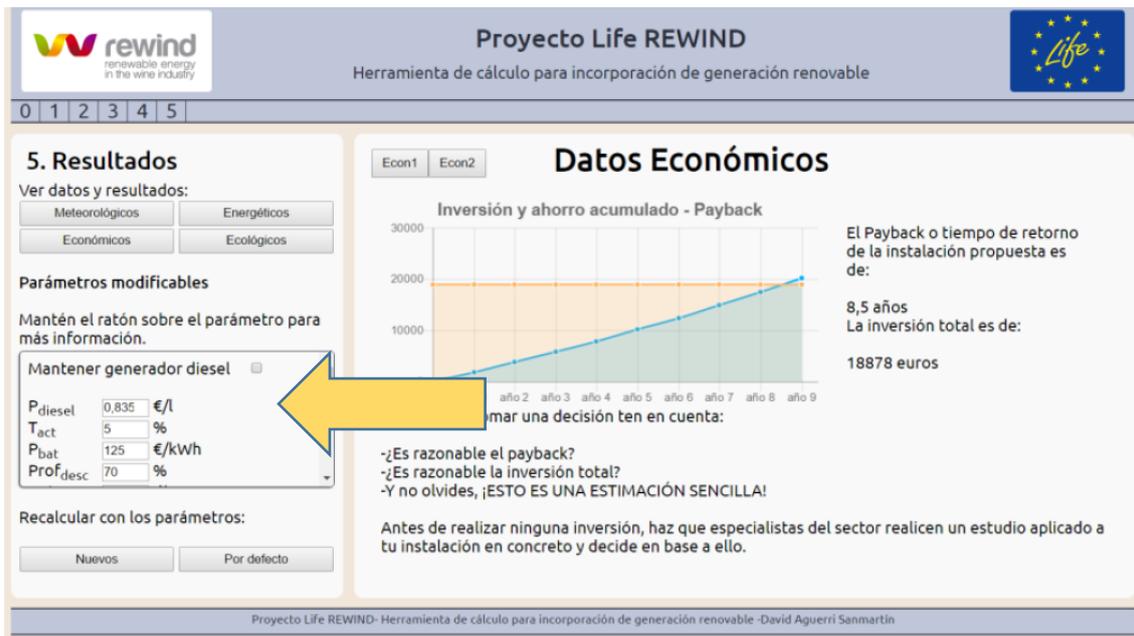


Figura 25 Visualización de resultados – Parámetros modificables.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] LIFE REWIND Project. <http://liferewind.unizar.es>.
- [2] 7th European Programme of Environmental Action. <http://ec.europa.eu/environment/action-programme/>
- [3] Node.js®, <https://nodejs.org>
- [4] Angular JS, <https://angularjs.org/>
- [5] Langley Research Center Atmospheric Science Data Center Surface meteorological and Solar Energy (SSE)", NASA. <https://www.nasa.gov/>
- [6] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)", Geographical Assessment of Solar Resource and Performance of Photovoltaic Technology; European Commission. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [7] Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red (PCT-A-REV-febrero 2009), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)
- [8] IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. <http://www.idae.es/>
- [9] "Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica", Practical Action, <http://practicalaction.org/>
- [10] "Estudio de la aplicación de instalaciones fotovoltaicas en granjas avícolas", Muñoz Jalle, José Luis. <https://zagan.unizar.es/record/4728?ln=es>
- [11] "Caracterización del consumo eléctrico en las granjas de vacuno lechero de Castilla y León", Bartolomé, D.J. <http://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v62n239/art13.pdf>
- [12] "Consumo eléctrico en granjas de ganado ovino lechero de Castilla y León", Bodas, R. <http://scielo.isciii.es/pdf/azoo/v62n239/art12.pdf>.
- [13] "Consumo de energía en las explotaciones porcinas", <https://www.3tres3.com/print/1470>
- [14] Panel fotovoltaico – SunPower E-Series. Anexo 1
- [15] Aerogenerador – Southwest Wind Power AirX. Anexo 2
- [16] Baterías – Crown CR-430 Commercial Deep Cycle. Anexo 3
- [17] Inversor – Magnum RD Series. Anexo 4