



**Universidad**  
Zaragoza

## Trabajo Fin de Máster

Influencia de la fuente de datos de irradiación,  
viento y temperatura en la optimización de sistemas  
híbridos renovables

Influence of irradiation, wind and temperature data  
on the optimization of renewable hybrid systems

Autor

Adrián Hernández Iranzo

Director

Rodolfo Dufo López

Máster en Ingeniería Industrial

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2021

# Influencia de la fuente de datos de irradiación, viento y temperatura en la optimización de sistemas híbridos renovables

## RESUMEN

El objetivo de este documento es analizar si existen diferencias de los parámetros meteorológicos de viento, temperatura e irradiación entre tres bases de datos muy conocidas (NASA, Renewable Ninja y PVGIS). Para ello se van a comparar las tres bases de datos en distintas ubicaciones europeas que tienen un clima muy diverso para poder ver así si el clima o ubicación afecta a la diferencia entre bases de datos. Y, para comprobar las diferencias y ver el alcance de las mismas se diseñan y optimizan sistemas renovables aislados de la red para las ubicaciones planteadas.

En la primera parte de este documento se analiza para cada base de datos las características, las fuentes de donde se obtienen los datos y los métodos de cálculo empleados para la obtención de los datos que permite exportar. También se analiza la precisión esperada de cada base de datos ya que existen diferentes maneras de obtención y procesado de datos, y algunas maneras son más precisas o tienen mayor resolución que otras.

En la segunda parte de este documento se explica el proceso de obtención de datos a partir de las páginas web de las bases de datos. Las comparaciones entre bases de datos se realizan para diez ubicaciones de España y para siete ubicaciones de otras partes de Europa. Los datos que se descargan para comparar son: Viento medio diario a 10 metros de altura, temperatura media diaria a 2 metros, irradiación solar incidente diariamente en paneles sobre superficie horizontal. Estos datos se procesan mediante Excel y Power BI para poder realizar diferentes gráficas en las que se muestra el porcentaje de diferencia entre bases de datos para las ciudades analizadas.

Por último, se realiza una optimización mediante el software iHOGA para cada ciudad y base de datos disponible de un sistema aislado híbrido fotovoltaico-eólico-baterías junto con generador auxiliar. Esto se realiza para poder observar si la elección de una base de datos a la hora de modelar el sistema provoca una variación elevada de los recursos renovables, que resulte en que los componentes necesarios para un funcionamiento optimizado del sistema sean diferentes. Esto puede provocar que los costes del sistema sean diferentes o que el sistema quede subdimensionado o sobredimensionado.

# ÍNDICE

---

1	Introducción .....	4
1.1	Recursos renovables .....	4
1.2	Objetivo del documento .....	5
2	Análisis de las bases de datos.....	6
2.1	Base de datos NASA.....	6
2.2	Base de datos Renewable Ninja.....	10
2.3	Base de datos PVGIS .....	13
2.4	Comparación de la precisión esperada.....	16
3	Análisis de los datos .....	18
3.1	Obtención de datos.....	19
3.2	Comparación NASA entre sí.....	21
3.3	Comparación Renewable Ninja entre sí .....	21
3.4	Comparación PVGIS entre sí .....	23
3.5	Comparación NASA contra Renewable Ninja .....	26
3.6	Comparación PVGIS contra Renewable Ninja .....	30
3.7	Comparación PVGIS contra NASA.....	33
3.8	Conclusión comparación de bases de datos.....	36
4	Optimización de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico-baterías.....	37
4.1	Datos introducidos.....	38
4.2	Análisis de los sistemas obtenidos.....	39
4.3	Comparación de costes y conclusión.....	45
5	Conclusiones.....	47
6	Referencias .....	49
7	Anexos .....	52
	ANEXO 1. Promedio diferencia irradiación diaria BBDD por meses .....	52
	ANEXO 2. Valores horarios simulaciones iHOGA .....	55

# 1 INTRODUCCIÓN

---

Las energías renovables juegan un papel cada vez más importante en todo el mundo. Para lograr reducir la dependencia de los combustibles fósiles y evolucionar así hacia un futuro con menores emisiones de carbono.

En 2014, la Comisión Europea presenta una propuesta en la que se proponen nuevos objetivos de reducción de emisiones, de mejora de la eficiencia energética y de utilización de energías renovables. Estos objetivos tienen como horizonte el año 2030 y se pretende dar continuidad a la misión de lucha contra el cambio climático de la Unión Europea. [1]

Los principales elementos de esta propuesta que se revisaron al alza en 2018 son la reducción de gases de efecto invernadero en al menos un 40% respecto a los niveles de 1990. La fracción renovable en el consumo de energía final debe alcanzar al menos el 32% y la mejora de al menos un 32,5% en la eficiencia energética. [1]

El cumplimiento de estos objetivos es factible debido a que la producción de electricidad mediante energías renovables tiene cada vez un precio menor debido al abaratamiento de los componentes necesarios para su producción. Por ello, la producción mediante tecnologías de energía renovable es cada vez más competitiva en términos de costes en comparación con otras fuentes de energía convencionales. Además, en muchos lugares, las energías renovables ya compiten con éxito con los precios de las tecnologías de combustibles fósiles. Por otro lado, teniendo en cuenta las emisiones a la atmósfera producidas, las energías renovables superarían claramente a las tecnologías convencionales.

Por ello es muy importante que se aumente el uso de tecnologías renovables para producción de energía, sobre todo para autoconsumo ya que así se evita tener que transportar la energía desde el punto de producción a el punto de consumo ya que estas distancias suelen ser elevadas y suponen un coste e impacto ambiental alto tanto por la construcción de líneas de alta tensión como por las pérdidas que se producen en el transporte de la energía.

## 1.1 RECURSOS RENOVABLES

Las fuentes de energía renovables son fuentes de energía inagotables y respetuosas con el medio ambiente basadas en la utilización de recursos inagotables como son la energía solar, el viento, agua o la biomasa.

A continuación, se van a comentar los recursos objeto de este documento: recurso solar (Irradiación y temperatura) y recurso eólico (viento).

### 1.1.1 Irradiación solar y temperatura

El calor generado por la reacción de fusión nuclear es responsable de que el Sol sea una gigantesca masa incandescente. Como cualquier cuerpo incandescente, el Sol emite radiación electromagnética en un amplio rango de longitudes de onda. La radiación electromagnética del Sol se propaga en el vacío a la velocidad de la luz y llega hasta la

Tierra proporcionando iluminación y un aporte de energía que eleva la temperatura terrestre.

La radiación electromagnética puede medirse de distintas formas: La irradiancia ( $W/m^2$ ) es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética y la irradiación solar ( $Wh/m^2$ ) es la magnitud que mide la energía por unidad de área de radiación solar incidente en una superficie colocada en un lugar y rango de tiempo bien especificados.

La irradiación solar puede medirse en el espacio o en la superficie de la Tierra después de la absorción y dispersión atmosférica. La irradiación en el espacio es una función de la distancia al Sol y el ciclo solar. La irradiación en la superficie de la Tierra también depende de la inclinación de la superficie de medición, la altura del sol sobre el horizonte y las condiciones atmosféricas. [2]

La energía que el sol vierte sobre la Tierra cada día es diez mil veces mayor que la que se consume diariamente en todo el planeta [2], por ello es de gran importancia realizar un aprovechamiento de este recurso renovable.

La forma más habitual de aprovechar este recurso renovable es para la generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos. El principal parámetro para conocer la generación fotovoltaica es la irradiación solar, la temperatura también afecta, aunque en menor medida ya que los paneles fotovoltaicos disminuyen su rendimiento con el aumento de temperatura.

### 1.1.2 Viento

El viento es un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire. El viento es el recurso renovable que permite obtener energía eólica transformando la energía en electricidad a través de un generador eléctrico.

La forma más habitual de aprovechar este recurso es mediante turbinas de viento normalmente ubicadas a cierta altura para maximizar la producción de electricidad, ya que a alturas mayores la velocidad del viento es mayor y el número de horas con viento es mayor. Las turbinas convierten el movimiento rotacional de las palas producido por el viento en electricidad a partir de un generador.

## 1.2 OBJETIVO DEL DOCUMENTO

Este documento tiene como objetivo realizar un análisis comparativo de tres bases de datos de irradiación, viento y temperatura y analizar las diferencias existentes al usar cada una de las tres bases en la optimización de sistemas renovables aislados de la red. Las tres bases de datos a analizar son: NASA, Renewable Ninja y PVGIS.

Este documento se divide en tres partes claramente diferenciadas:

- La primera parte se desarrolla en el capítulo 2 y se analizan las características, las fuentes de donde se obtienen los datos y los métodos de cálculo empleados en

cada base de datos. Además, se analiza la precisión esperada de cada base de datos.

- En la segunda parte (capítulo 3) se realiza una comparación de los datos de irradiación solar, viento y temperatura de diez ciudades españolas y siete ciudades de otros países europeos. Las comparaciones de los datos entre ciudades se realizan mediante diferentes gráficas en las que se muestra el porcentaje de diferencia entre bases de datos para las ciudades analizadas.
- En el capítulo 4 se realiza la optimización de un sistema aislado híbrido fotovoltaico-eólico-baterías junto con generador auxiliar en las localizaciones de los apartados anteriores. Se realiza un sistema optimizado utilizando cada una de las bases de datos para poder comparar la diferencia de los costes y componentes del sistema que se obtiene al usar fuentes de datos diferentes. Para realizar estas optimizaciones se utiliza el software iHOGA [3].

Por último, se muestran las conclusiones extraídas tras realizar todas las comparaciones y la optimización de los sistemas aislados para cada ciudad y base de datos y se ve si afecta o no la elección de la base de datos en el dimensionamiento del sistema.

## 2 ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS

---

En este apartado se va a analizar las características, las fuentes de datos y los métodos de cálculo empleados de cada base de datos: NASA, Renewable Ninja y PVGIS. También se comentan las diferencias que se puede esperar respecto a la precisión de cada base de datos.

### 2.1 BASE DE DATOS NASA

La base de datos que proporciona la NASA [4] tiene dos características principales, es global y sus datos son continuos en el tiempo. Esto supone que los conjuntos de datos son de gran tamaño, por lo que la NASA está continuamente desarrollando mejoras para hacer su interfaz de usuario más sencilla y amigable.

La NASA, a través de su programa Earth Science [5], ha empleado desde hace años los sistemas satelitales junto con el desarrollo de sistemas y procesos para obtener los datos necesarios para el estudio de los procesos climáticos. Los datos que proporcionan los satélites son estimaciones climatológicas a largo plazo de variables meteorológicas y flujos de energía solar en superficie.

La NASA cuenta con diversos sistemas satelitales, de todos ellos solo algunos se nutren de información para poder realizar las estimaciones climatológicas disponibles en las bases de datos, algunos de ellos se exponen a continuación:

- **Satélites de órbita estacionario (GEO)** [6]: Siguen una órbita alrededor de la Tierra sobre el Ecuador en una dirección y velocidad similares a la de la rotación de la Tierra. La posición casi fija respecto a la tierra aumenta la capacidad de monitorizar cambios sensibles en el ambiente. Varios satélites meteorológicos GEO trabajan conjuntamente para monitorear el globo entero. El área que observan, llamada huella satelital, cubre la mayoría de los océanos y continentes. Las nuevas generaciones de estos satélites están sincronizados con las nuevas tecnologías e instrumentación y proporcionan una mejor resolución espacial y una cobertura de datos meteorológicos casi en tiempo real.
- **EOS Aqua (PM-1)** [7]: El sistema Aqua de Observación de la Tierra tiene una órbita que sobrevuela el globo cada 16 días, EOS Aqua proporciona mediciones exhaustivas tomadas por los instrumentos a bordo que permite evaluar cambios a largo plazo, identificar las causas humanas y naturales y avanzar en el desarrollo de modelos de predicción a largo plazo. Aqua fue puesto en órbita el 4 de mayo del 2002.
- **Terra: (EOS AM-1)** [8]: Los objetivos científicos del satélite Terra son las mediciones continuas y a largo plazo de procesos globales para mejorar la comprensión del papel que desempeñan las nubes y aerosoles en la radiación que llega a la Tierra, fuentes y descenso de la energía, agua, y carbón en la biosfera terrestre, dinámicas del ecosistema terrestre y su relación con el clima, temperatura de la superficie oceánica, productividad primaria del océano y componentes químicos de la atmosfera. El satélite Terra fue lanzado el 18 de diciembre de 1999.
- **Aura** [9]: Aura es parte del proyecto ciencia terrestre, un programa dedicado a monitorizar las complejas interacciones que afectan al globo terrestre usando los satélites de la NASA y sistemas de adquisición de datos. Este satélite cuenta con cuatro instrumentos dedicados al estudio de la dinámica y química de la atmosfera. Las medidas proporcionadas por Aura aportan datos precisos para los modelos predictivos. Aura fue lanzado el 15 de Julio de 2004.

La utilización de satélites para la obtención de datos es lo suficientemente precisa para obtener valores fiables del recurso solar e información meteorológica en regiones en las que las medidas en superficie son bajas o inexistentes, esto se consigue gracias a las técnicas de reanálisis de datos.

En los siguientes subapartados (2.1.1 y 2.1.2) se explica de donde proceden los datos meteorológicos (viento, temperatura, etc...) y solares que emplea la base de datos NASA.

### 2.1.1 Datos meteorológicos

La Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) [10] es una organización dentro de la NASA que utiliza modelos de simulación por ordenador y técnicas de modelado de datos para potenciar el programa de la NASA de observaciones terrestres, cuyas siglas son GEOS (Goddard Earth Observing System). Originalmente esta organización se formó para el programa EOS (Earth Observing System), este programa evolucionó para incluir nuevas observaciones pasando a llamarse GEOS.

La misión de GMAO es la de proveer el reanálisis necesario de los datos captados por los satélites de la NASA, el análisis puede ser desde predicción meteorológica y climática hasta analizar el impacto de fenómenos y modelado de datos para crear bases de datos meteorológicas. Las capacidades computacionales actuales permiten a GMAO simular todo el globo con unas resoluciones espaciales que previamente solo se podían conseguir mediante modelos regionales. [11]

Los datos utilizados en GMAO provienen de las tres plataformas EOS existentes, que son los satélites Terra, Aqua y Aura, junto con datos de las misiones espaciales y datos de superficie.

Esta organización cuenta con diversos productos para diferentes tareas (GEOS FP, GEOS FP-IT, GEOS-CF, GEOS-S2S, MERRA-2, 7KM-G5NR Y SMAP L4) [12].

Los datos meteorológicos que se usan en este documento para esta base de datos provienen de los productos denominados como **MERRA-2 y GEOS FP-IT** en la versión 5.12.4 [13].

El Modern Era Retrospective analysis for Research and Applications en la versión 2 es conocido como MERRA-2. MERRA-2 es una base de datos que contiene datos desde 1980 hasta una semana antes respecto al momento actual, es decir lleva una semana de retraso respecto al momento en el que se quieren consultar los datos.

Los datos de esta base de datos se obtienen a partir de técnicas de reanálisis GEOS-5.12.4 y modelado de datos tomando como origen los datos a largo plazo obtenidos de los satélites. La resolución espacial es de  $0,5^\circ \times 0,65^\circ$  latitud/longitud.

MERRA-2 es la evolución de MERRA, esta base de datos fue discontinuada en 2016 y usaba técnicas de adquisición de datos de GEOS-5, que dejaron de desarrollarse en 2008. A partir de MERRA se realizaban técnicas de reanálisis para obtener otras bases de datos: MERRA-Land (superficie terrestre) y MERRAero (aerosoles en la atmosfera). [14]

Los motivos por los que surgió la evolución a MERRA-2 fueron los avances que se hicieron en los sistemas de adquisición de datos que empezaron a permitir capturar datos de radiación espectral, microondas y datos de GPS. Además, se mejoraron las técnicas de adquisición de datos de GEOS y GSI (Radiance Assimilation Monitoring and Information). [15]

Además de estos avances, MERRA-2 consiguió un importante avance en el objetivo de realizar un reanálisis completo del sistema terrestre, y, es que MERRA-2 fue la primera base de datos en incluir las observaciones de los aerosoles y representar sus interacciones con otros procesos físicos en el sistema climático.

La base de datos GEOS FP-IT (FP-IT son las siglas de Forward Processing for Instrument Teams) [16] utiliza el mismo sistema de reanálisis para la generación de datos que la base de datos MERRA-2, el sistema de reanálisis GEOS-5.12.4. Las diferencias entre ambas bases de datos son dos: algunas observaciones incluidas en MERRA-2 no lo están en GEOS



FP-IT y la forma de exportación de los datos en colecciones está personalizada para los usuarios del producto.

### 2.1.2 Datos solares

Los parámetros solares como la irradiación de esta base de datos se obtienen desde **GEWEX/SRB** release 3.0, **CERES FLASHFlux** Version 2 (D,E,G,H) y **CERES FLASHFlux** Version 3 (A,B,C), todas bases de datos de la NASA. [13]

La base de datos de la NASA Surface Radiation Budget (GEWEX/SRB release 3.0) contiene los datos globales cada tres horas, diarios, mensuales y promedios mensuales de la radiación de onda corta y larga incidente en cuadrículas de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ .

Esta base de datos tiene como datos de entrada [17]: los datos de radiación visible e infrarroja de ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project), nubes, propiedades de la superficie, perfiles de humedad y niveles de ozono, mediante los cuales se realizan los cálculos pertinentes de los cuales se obtienen los datos de salida disponibles para consultar de esta base de datos.

La versión 3 de SRB difiere sustancialmente de las versiones anteriores al implementar numerosas mejoras en los algoritmos y en los datos de entrada. Esta base de datos solo contiene datos hasta diciembre de 2007.

Los siguientes años se emplean las otras dos bases de datos: CERES FLASHFlux Version 2 y Version 3.

Las bases de datos de Clouds and the Earth's Radiant Energy System of Fast Longwave and Shortwave Radiative Fluxes (CERES FLASHFlux) tomaron el relevo de las bases de datos GEWEX/SRB a partir de diciembre de 2007, mes en el que finalizó el proyecto. La versión 2 de FLASHLux contiene datos hasta diciembre de 2012 y la versión 3 contiene datos desde enero de 2013 hasta la actualidad. [13]

El cambio en 2007 a las nuevas bases de datos CERES FLASHLux se realizó para mejorar la precisión de los datos, y es que, el sistema de obtención y procesado de los datos mejoró enormemente gracias al proyecto que se empezó a llevar a cabo, denominado CERES.

CERES es un proyecto que obtiene datos de Earth's radiation Budget (ERB) y de las nubes. [18] y tiene como objetivo el producir una base de datos a largo plazo de irradiación (ERB) desde la superficie hasta la parte superior de la atmosfera. Los datos se obtienen a partir de instrumentos CERES colocados en diversos satélites junto con datos procedentes de otros instrumentos, estos conjuntos de datos proporcionan una base de datos fiable de la radiación (ERB). En total hay siete instrumentos CERES [19] operativos en cinco satélites. (TRMM, Terra, Aqua, S-NPP, NOAA-20)

CERES consigue hacer proyecciones fiables del clima y del flujo de energía del sistema climático y de cómo interacciona con la tierra (atmósfera, hidrosfera, litosfera y biosfera). Los datos que obtiene CERES permiten seguir los cambios de la radiación incidente en el globo terráqueo y llevar a cabo una observación precisa de la variación de los flujos de energía y la interacción con las nubes, aerosoles y lluvia. [20]

Un conjunto de datos que se obtiene de CERES es FLASHLux, son datos de baja latencia (retraso máximo de 7 días desde el día actual de consulta) parametrizados de la radiación en la superficie terrestre obtenidos de CERES. [21] Estos datos se obtienen para cuadrículas de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ .

A partir de los datos de las bases de datos mostradas en los subapartados 2.1.1 y 2.1.2 se crea la base de datos solar y meteorológica a la que se puede acceder y la que se usa en este documento. Esta base de datos ofrece datos diarios de los parámetros, parte de una rejilla de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  latitud/longitud y a partir de esta rejilla se reescala y se obtiene una rejilla de  $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$  latitud/longitud utilizando una interpolación bilineal. Los datos de esta rejilla son los que se guardan y están disponibles para consultar en la página web.

## 2.2 BASE DE DATOS RENEWABLE NINJA

La base de datos Renewable Ninja [22] funciona a partir de los datos obtenidos del reanálisis global de modelos y de observaciones satelitales. Las dos bases de datos de las que se nutre son de MERRA-2 de la NASA y CM-SAF SARA [23].

Esta base de datos permite obtener datos de temperatura, viento, irradiación, precipitaciones, nieve y cobertura de nubes para cualquier ubicación del mundo para los años 1980 – 2019, con la excepción de que si se quieren exportar datos de la base de datos CM-SAF SARA solo se pueden exportar datos relacionados con la irradiación hasta 2015, y de países europeos, ya que esta base de datos contiene datos de los años 2000 – 2015. Los datos que se pueden obtener son datos horarios.

Además, esta base de datos también ofrece un cálculo de la electricidad que se puede producir mediante paneles solares y mediante aerogeneradores usando el recurso solar y eólico de la propia base de datos, junto con algunos parámetros que se pueden introducir, como la orientación e inclinación del panel, o, el modelo y potencia de turbina en el caso de aerogeneradores. El cálculo de la energía a partir de la irradiación se basa en el modelo GSEE (Global Solar Energy Estimator) escrito por Stefan Pfenninger [24] y el cálculo de la energía obtenida a partir del viento se basa en el modelo VWF (Virtual Wind Farm) escrito por Lain Staffell [25].

La base de datos MERRA-2 ya se ha explicado en el apartado 2.1.1 (con la diferencia de que ahora de esta base de datos se usan también los datos de irradiancia solar, en NASA se usaban otras bases de datos para el cálculo) por lo que ahora se va a desarrollar la segunda base de datos de la que se nutre Renewable Ninja, CM-SAF SARA.

El conjunto de datos CM-SAF SARA (Surface Solar Radiation Data Set Heliosat) se obtiene a partir de un sistema basado en satélites que registra la irradiación solar en superficie, la irradiación normalizada directa en superficie y el albedo de nubes. Estos datos se obtienen a partir de los instrumentos MVIRI y SEVIRI [26] montados en los satélites geoestacionarios Meteosat [27]. Estos instrumentos generan imágenes visibles e

infrarrojas, los datos captados se procesan mediante algoritmos y son los que se ofrecen como datos finales a quien los quiera consultar. A día de hoy el periodo temporal que abarcan los datos disponibles en esta base de datos es elevado, llegando a los 33 años, desde 1982 hasta 2015, similar al resto de reanálisis modernos.

CM-SAF SARA solo ofrece datos de Europa y su resolución espacial es considerablemente superior a MERRA-2, ofreciendo una cuadrícula de  $0,05^\circ \times 0,05^\circ$  latitud/longitud y en intervalos de tiempo de una hora en vez de la cuadrícula de  $0,5^\circ \times 0,65^\circ$  latitud/longitud que utiliza MERRA-2.

### 2.2.1 Datos de temperatura e irradiancia

En cuanto a los datos utilizados para aplicaciones fotovoltaicas, temperatura e irradiancia, los datos que se pueden descargar proceden de realizar una corrección del sesgo sistemático de los datos haciendo coincidir las simulaciones realizadas con el sesgo medio en el modelado de las bases de datos origen. Posteriormente se examinan los patrones a largo plazo, la variabilidad y la correlación con la demanda de energía de Europa, utilizando treinta años de resultados simulados. Para validar estas simulaciones se recopilan series de tiempo medidas de más de 1000 sistemas fotovoltaicos, así como la producción agregada nacional de la que informan los operadores de redes [24]. Estas simulaciones horarias para **las dos bases de datos** son las que se pueden encontrar gratuitamente en la página web de Renewable Ninja.

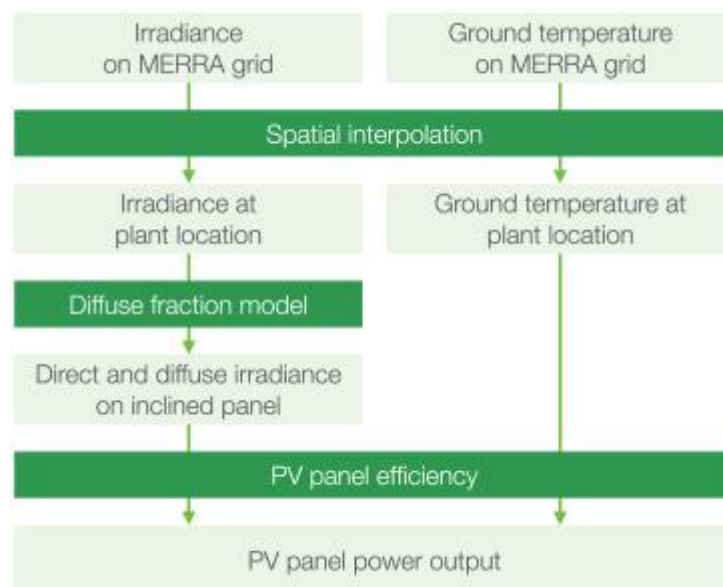


Ilustración 2.1. Proceso de obtención de datos de la base de datos MERRA-2 [24]

Las diferencias que se pueden encontrar entre las bases de datos de las que se puede descargar la información son las siguientes:

MERRA-2 (reanálisis meteorológico global) es ligeramente menos preciso que SARA (imágenes satelitales) pero con mejor continuidad de los datos. Esto se debe a que las técnicas de reanálisis permiten obtener datos de localizaciones o zonas temporales donde no hay observaciones directas gracias a sus mediciones y modelos matemáticos. Como desventajas se tiene que al usar técnicas de reanálisis pueden existir ciertos errores en los datos o que la resolución espacial es insuficiente. Esto hace que para aplicaciones

en las que se requiere una precisión de los datos muy alta sea necesario validar los datos con datos medidos en estaciones de superficie.

Otro factor por el que las técnicas de reanálisis son menos precisas es que los valores de irradiancia pueden ser erróneos al ocurrir frecuentemente una predicción de cielos despejados cuando en realidad el cielo está cubierto de nubes. Esto no ocurre con imágenes satelitales que pueden estimar las condiciones atmosféricas a la perfección.

El reanálisis global de los datos como puede ser MERRA-2 no es ampliamente usado para el modelado de la irradiancia solar debido a dos razones. La primera es que los sistemas fotovoltaicos se desarrollaron después que los sistemas eólicos, y, lo segundo, las imágenes satelitales proveen de una fuente de datos gratuita mundial con las ventajas ya comentadas. Por ello, otras bases de datos como la de la NASA usan otras fuentes de datos para la irradiancia.

### 2.2.2 Datos de viento

Los datos relacionados con el viento se obtienen de la base de datos MERRA-2. La técnica de reanálisis usada en MERRA-2 es muy potente para la simulación horaria del viento.

Según Lain Stafell [25] los datos de viento de MERRA-2 sufren de un importante sesgo espacial sobreestimando el viento hasta en un 50% en el noroeste de Europa y subestimando hasta en un 30% en las zonas mediterráneas.

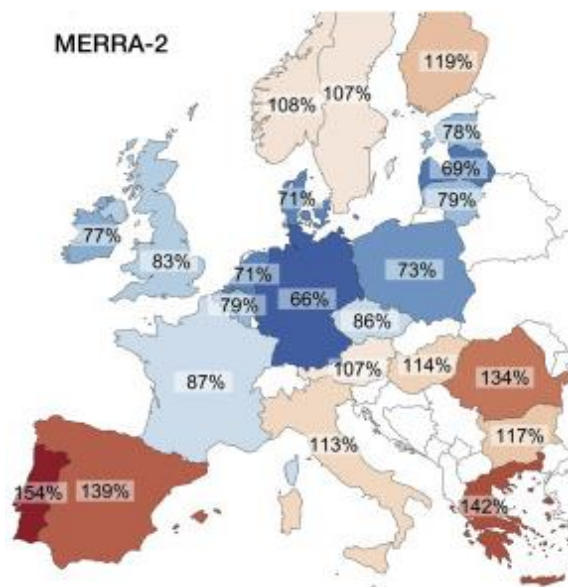


Ilustración 2.2. Factores de corrección del viento para MERRA-2 por países [25]

Renewable Ninja procesa los datos de MERRA-2 aplicando factores de correlación, calculados previamente, según los países [25], y, tras aplicar estos factores correctores a los datos de entrada se consigue modelar el recurso eólico con un  $R^2$  superior a 0,95. Estos datos corregidos son los que se pueden encontrar gratuitamente en la página web de Renewable Ninja.

### 2.3 BASE DE DATOS PVGIS

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) [28] ha sido desarrollado por el Centro de la Comisión Europea de Investigación (JRC) desde 2001. El objetivo de PVGIS es la investigación del recurso solar y por ello de los datos de radiación incidente y la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos. La aplicación web cuenta con varias herramientas relacionadas con la energía solar fotovoltaica desde las que se pueden obtener datos para cualquier localización de Europa y África, también se pueden obtener para algunos países de Asia y América. La aplicación web de PVGIS ha sufrido numerosos cambios con el paso de los años, encontrándose actualmente en la versión 5.1 [29]. Cada versión ha incrementado el número de funciones disponibles y el área geográfica desde el que se pueden obtener datos.

En este apartado se va a hablar sobre las bases de datos disponibles en PVGIS: **PVGIS-NSRDB**, **PVGIS-SARAH**, **PVGIS-CMSAF**, **PVGIS-ERA5**, **PVGIS-COSMO**. Estas bases de datos se pueden descargar en varios formatos (mensual, diario y anual) y contiene la irradiación recibida en los paneles fotovoltaicos según diversos factores (orientación, inclinación panel, seguimiento...), viento y temperatura. A partir de estas bases de datos PVGIS también calcula mediante diferentes herramientas rendimientos y producción de sistemas aislados, conectados a red o con seguimiento solar y también calcula potencias de sistema necesaria para la obtención de la energía necesaria

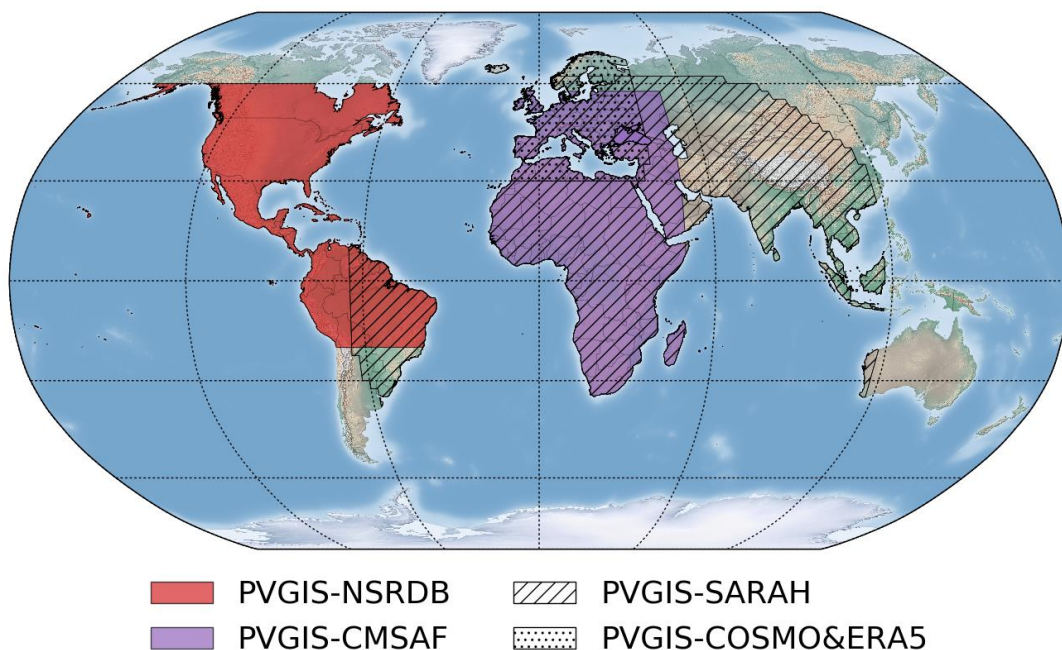


Ilustración 2.3. Áreas cubiertas por cada base de datos [30]

De todas las bases de datos de las que dispone, PVGIS recomienda usar para cada región del globo alguna en específico, pese a que haya disponible más de una en la ubicación deseada. Esto es debido a que han comprobado que para esa zona la base de datos recomendada tiene una mejor precisión. [31]

En la ilustración inferior se observa la base de datos recomendada para cada zona de la que es posible obtener información en PVGIS.

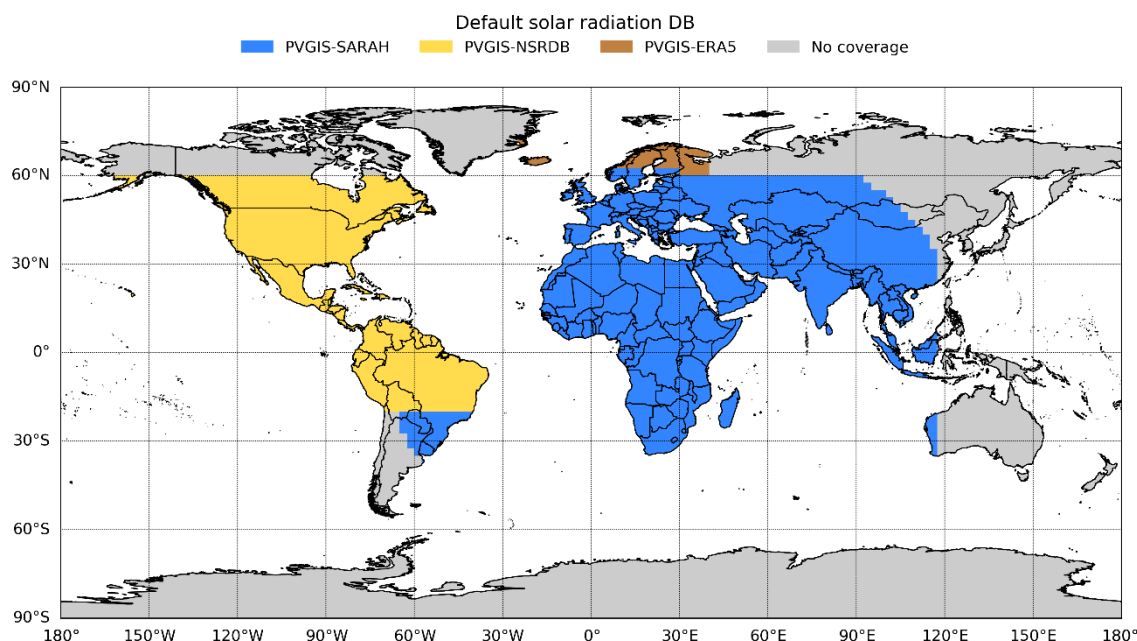


Ilustración 2.4. Mapa de las bases de datos recomendadas por zona [31]

Las cinco bases de datos de las que dispone PVGIS utilizan como fuentes de datos solo observaciones satelitales, es decir, no utiliza ningún dato procedente de observaciones sobre la superficie terrestre. Esto permite que la superficie con datos disponible sea grande. Todas las bases de datos proporcionan datos DB para cada hora, pero con distintas resoluciones espaciales y zonas de datos.

A continuación, se muestra una tabla comparativa de las bases de datos disponibles en PVGIS (Tabla 2.1) y posteriormente se va a hablar sobre cada una ellas:

Base de datos	Tipo	Años disponibles	Resolución espacial	Comentarios
PVGIS-SARAH	Satélite	2005 - 2016	0.05° x 0.05° (~ 5 km)	BD recomendada para Europa, Asia, África y América del Sur
PVGIS-NSRDB	Satélite	2005 - 2015	0.038° x 0.038° (~ 4 km)	BD recomendada para América (excepto América del Sur)
PVGIS-CMSAF	Satélite	2007 - 2016	0.025° x 0.025° (~ 2.5 km)	BD discontinuada, mejor usar PVGIS-SARAH
PVGIS-ERA5	Reanálisis	2005 - 2016	0.25° x 0.25° (~ 25 km)	BD recomendada para el norte de Europa
PVGIS-COSMO	Reanálisis	2005 - 2015	0.055° x 0.055° (~ 5 km)	Alternativa a ERA5 (reanálisis alta resolución de Europa)

Tabla 2.1. Tabla comparativa bases de datos PVGIS [30]

La base de datos **PVGIS-SARAH** contiene los datos que provienen del cálculo realizado mediante algoritmos por CM SAF y el equipo de PVGIS a partir de los datos obtenidos por imágenes satelitales [32]. Esta base de datos cubre Europa (excepto el norte), África, la mayor parte de Asia y América del Sur.

La base de datos **PVGIS-NSRDB** aporta datos en América del norte y América central gracias a nutrirse de la base de datos NSRDB (National Solar Radiation Database) y la colaboración con NREL [33] (National Renewable Energy Laboratory).

La base de datos **PVGIS-CMSAF** contiene los datos provenientes del cálculo realizado por los algoritmos creados en conjunto entre CM SAF y el equipo de PVGIS a partir de las imágenes obtenidas por los satélites. Los países de los que contiene datos son de Europa (excepto el norte) y África. Tiene una precisión bastante menor que SARAH y además ya no se actualiza en el tiempo.

La base de datos **PVGIS-ERA5** contiene los datos que provienen del reanálisis que produce ECMWF. El reanálisis se realiza porque algunas áreas no están cubiertas con datos satelitales, como es el caso de las zonas que están en las latitudes altas, y, con el reanálisis se obtienen los datos para esas zonas. Esta base de datos contiene datos únicamente de Europa.

Esta base de datos quedará próximamente como la única base de datos disponible donde la cobertura de los datos de los satélites no esté disponible ya que PVGIS-COSMO será eliminada de la aplicación.

La base de datos **PVGIS-COSMO** al igual que ERA5 contiene los datos que provienen del reanálisis y contiene datos únicamente para Europa. Esta base de datos tiene mayor resolución espacial que ERA5 y será eliminada de PVGIS próximamente.

### 2.3.1 Bases de datos que emplean métodos de reanálisis

Para ambas bases de datos (**PVGIS-ERA5** y **PVGIS-COSMO**) el reanálisis se calcula usando modelos numéricos de predicción del clima que posteriormente han sido corregidos y validados mediante los datos obtenidos de estaciones meteorológicas de superficie.

En la Ilustración 2.5 se muestra la desviación media de los datos respecto a las estaciones de suelo de las dos bases de datos que calculan sus datos a partir del reanálisis y también de SARAH, que calcula sus datos a partir de imágenes satelitales.

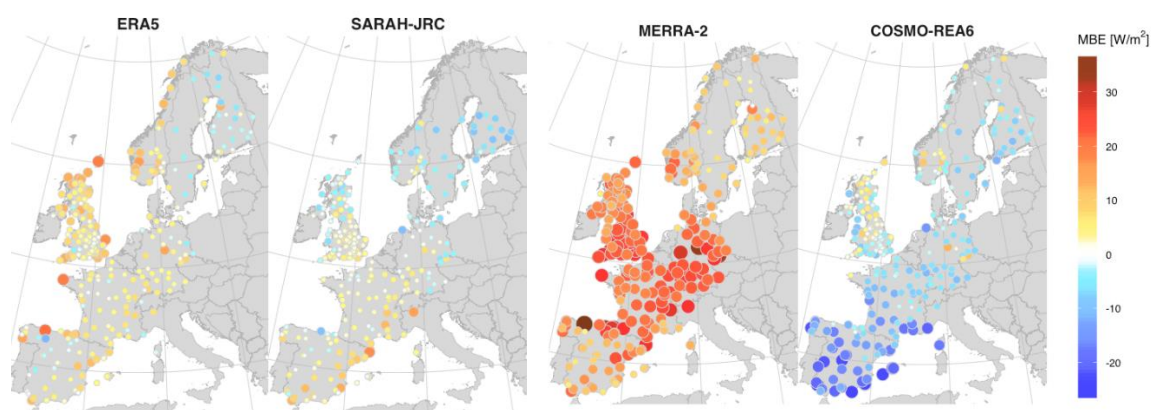


Ilustración 2.5. Validación de resultados ( $W/m^2$ ) para diferentes productos de reanálisis europeos y SARAH (imágenes satelitales). Cada punto corresponde con una estación de suelo. [34]

### 2.3.2 Bases de datos que emplean imágenes satelitales

Para las tres bases de datos que utilizan satélites se emplean imágenes satelitales (**PVGIS-SARAH**, **PVGIS-CMSAF** y **PVGIS-NSRDB**). Estas imágenes las proporciona METEOSAT en el caso de las bases de datos que emplean algoritmos de CM SAF, y, proporcionadas por satélites americanos en el caso de NSRDB [32]. El proceso es el mismo que el que se ha

comentado para la base de datos de Renewable Ninja con la diferencia de que el algoritmo que se utiliza para obtener los datos a partir de las imágenes satelitales es diferente.

Los datos que producen los algoritmos se validan con las medidas realizadas en la superficie terrestre. Así se consigue calcular la incertidumbre que hay en la información calculada a partir de las imágenes satelitales. Esto se conoce como validación de datos.

En la Tabla 2.2 se muestran los resultados de la comparación de la irradiación incidente en diferentes ubicaciones del mundo. Los datos de irradiación medidos en la superficie terrestre provienen de BSRN (Baseline Surface Radiation Network) [35].

Localización	Latitud	Longitud	% diferencia entre satélite y estación	
			PVGIS-CMSAF	PVGIS-SARAH
Lindenberg (DE)	52.22N	14.12E	-3.4	-3.2
Cabauw (NL)	51.97N	4.93E	+0.4	-0.4
Carpentras (FR)	44.05N	5.03E	+2.1	+5.5
Payerne (CH)	46.81N	6.94E	-3.0	+0.6
Belsk (PL)	51.70N	20.8E	-5.5	NA
Camborne (UK)	50.22N	5.32W	+3.0	-1.9
Toravere (EE)	58.27N	26.47E	+5.1	-4.1
Sde Boqer (IL)	30.87N	34.77E	-3.3	+3.4
Almeria (ES)	37.50N	2.2W	-0.9	NA
Geneve (CH)	46.12N	6.01E	+2.6	NA
Nantes (FR)	47.25N	1.55W	+3.8	NA
Milano (IT)	45.48N	9.26E	-0.5	NA
Madrid (ES)	40.45N	3.72W	-0.3	NA
Tamanrasset (DZ)	22.78N	5.51E	-6.0	+2.6

Tabla 2.2. Comparación de datos satelitales con datos obtenidos en estación de superficie [32]

## 2.4 COMPARACIÓN DE LA PRECISIÓN ESPERADA

Fuente de datos	Técnica de calculo	Año	Validación datos	
NASA	-	Reanálisis / Satélite	1981 - 2021	Si
Renewable Ninja	MERRA-2	Reanálisis	1980 - 2019	Si
	CM-SAF SARAH	Satélite	2000 - 2015	Si
	PVGIS-SARAH	Satélite	2005 - 2016	Si
	PVGIS-NSRDB	Satélite	2005 - 2015	Si
PVGIS	PVGIS-CMSAF	Satélite	2007 - 2016	Si
	PVGIS-ERA5	Reanálisis	2005 - 2016	Si
	PVGIS-COSMO	Reanálisis	2005 - 2015	Si

Tabla 2.3. Resumen comparativo de las tres bases de datos

A continuación, se va a hacer un pequeño resumen comparando entre sí la precisión esperada de las distintas bases disponibles de cada base de datos y posteriormente se comparará la precisión esperada de NASA, Renewable Ninja y PVGIS.

### 2.4.1 NASA

Esta base de datos tiene como origen varias fuentes de las que coge los datos necesarios de cada una y tras realizar los cálculos pertinentes los agrupa en la única opción disponible para descargar.



Esta opción permite la descarga de multitud de parámetros meteorológicos y solares. De los cuales **los parámetros meteorológicos están calculados mediante técnicas de reanálisis de datos y los parámetros solares mediante imágenes satelitales.**

#### 2.4.2 Renewable Ninja

Se espera que MERRA-2 sea ligeramente menos preciso que SARA-H pero con mejor continuidad de los datos por la diferencia en la obtención de los mismos (reanálisis contra imágenes satelitales).

Por otro lado, CM-SAF SARA-H solo ofrece datos de Europa y su resolución espacial es considerablemente superior a MERRA-2, ofreciendo una cuadrícula de  $0,05^\circ \times 0,05^\circ$  latitud/longitud en vez de la cuadrícula de  $0,5^\circ \times 0,65^\circ$  latitud/longitud que utiliza MERRA-2.

En Renewable Ninja no todos los datos se pueden obtener de CM-SAF SARA-H, por lo que las dos bases de datos son complementarias y por ello **es conveniente usar CM-SAF SARA-H para datos de temperatura e irradiancia y MERRA-2 para datos de viento.**

#### 2.4.3 PVGIS

En cuanto a PVGIS-CMSAF, el área cubierta por esta base de datos es menor que PVGIS-SARA-H ya que cubre Europa (excepto el norte) y África, pero no Asia y América del Sur, cosa que sí hace PVGIS-SARA-H. Además, tiene una precisión bastante menor que PVGIS-SARA-H y ya no se actualiza en el tiempo, por lo que entre estas dos bases de datos es más conveniente utilizar PVGIS-SARA-H.

Como la Ilustración 2.5 muestra, la base de datos PVGIS-COSMO cuenta con una precisión menor que PVGIS-SARA-H y PVGIS-ERA5 ya que la desviación media de los datos obtenidos mediante imágenes satelitales respecto a las estaciones terrestres es superior. Además, pese a que PVGIS-COSMO tiene una mayor resolución espacial será removida de la aplicación próximamente. Por ello entre ERA5 y COSMO es conveniente utilizar ERA5.

Si se comparan PVGIS-SARA-H y PVGIS-ERA5 se tiene que cuentan con una precisión muy similar en las zonas donde ambas bases están presentes, siendo algo más precisa PVGIS-SARA-H. **Por ello es conveniente utilizar PVGIS-SARA-H siempre que sea posible, PVGIS-ERA5 en las zonas del norte de Europa donde no está PVGIS-SARA-H y PVGIS-NSRDB en América del norte y central.**

#### 2.4.4 Comparación global

Como conclusión se puede decir que se espera una mayor precisión de las bases de datos que usan imágenes satelitales, contra una menor precisión de las que usan métodos de reanálisis. Por lo que si para la zona de la que se quieren obtener datos hay disponible

más de una base de datos para la información que se quiere obtener será mejor utilizar una base de datos que use para obtener su información imágenes satelitales.

Las bases de datos que obtienen la información de imágenes satelitales son CM-SAF SARA, PVGIS-SARA, PVGIS-NSRDB, PVGIS-CMSAF y NASA para los parámetros solares. Las bases de datos que se obtienen del reanálisis de datos son MERRA-2 (Renewable Ninja), PVGIS-ERA5, PVGIS-COSMO y NASA para los parámetros meteorológicos.

En cuanto a la precisión de las bases de datos que obtienen la información a partir de imágenes satelitales se espera una precisión similar al emplear las misma fuente de datos origen para las imágenes satelitales y realizar validación de datos, la diferencia se encuentra en los algoritmos empleados para la generación y corrección de datos, que es lo que puede hacer que exista una ligera variación.

Lo mismo ocurre con las bases de datos que utilizan técnicas de reanálisis para la generación de los datos, aunque en este caso se espera una mayor diferencia entre ellas al ser un proceso más complejo y que puede conllevar mayores diferencias.

### 3 ANÁLISIS DE LOS DATOS

---

En este apartado se realiza una comparación de los datos de irradiación solar, viento y temperatura de distintas localizaciones para poder comparar así las diferencias entre las distintas bases de datos.

Las localizaciones que se han elegido son europeas. Concretamente diez ciudades españolas y siete ciudades de otros países europeos. Se han elegido estas ciudades para poder obtener así unas conclusiones fiables de este estudio para los países que están en el ámbito de influencia al que pertenecemos, la Unión Europea, y que puede afectarnos en un futuro si vamos a realizar algún proyecto de una instalación renovable en alguna ciudad europea.

Los datos que se van a comparar son: Viento medio diario a 10 metros de altura (m/s), temperatura media diaria a 2 metros ( $^{\circ}\text{C}$ ), irradiación solar incidente diariamente en paneles sobre superficie horizontal ( $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{dia}$ ).

Primero se comenta el proceso seguido para la obtención y procesado de los datos y posteriormente se muestran las comparaciones de los datos mediante diferentes gráficas.

### 3.1 OBTENCIÓN DE DATOS

Los datos que se obtienen de las bases de datos para realizar las comparaciones son datos diarios para todos los días del año de los años 2009 – 2015. Se realizan hasta 2015 para poder realizar una comparación mediante gráficas entre las bases de datos, ya que, aunque NASA permite descargar datos hasta 2021, PVGIS solo permite descargar datos hasta 2016 y Renewable Ninja hasta 2015 con CMSAF y hasta 2019 con MERRA-2. Por lo que las comparativas entre bases de datos se hacen hasta 2015 y las comparativas entre las bases de datos de PVGIS se hacen hasta 2016.

En las siguientes ilustraciones se muestra la interfaz gráfica de las tres bases de datos, es similar en los tres casos ya que permite introducir las coordenadas de donde se quieren obtener los datos, seleccionar el año, la base de datos que se quiere usar, marcar los datos que se quieren descargar y el fichero de salida de los mismos.

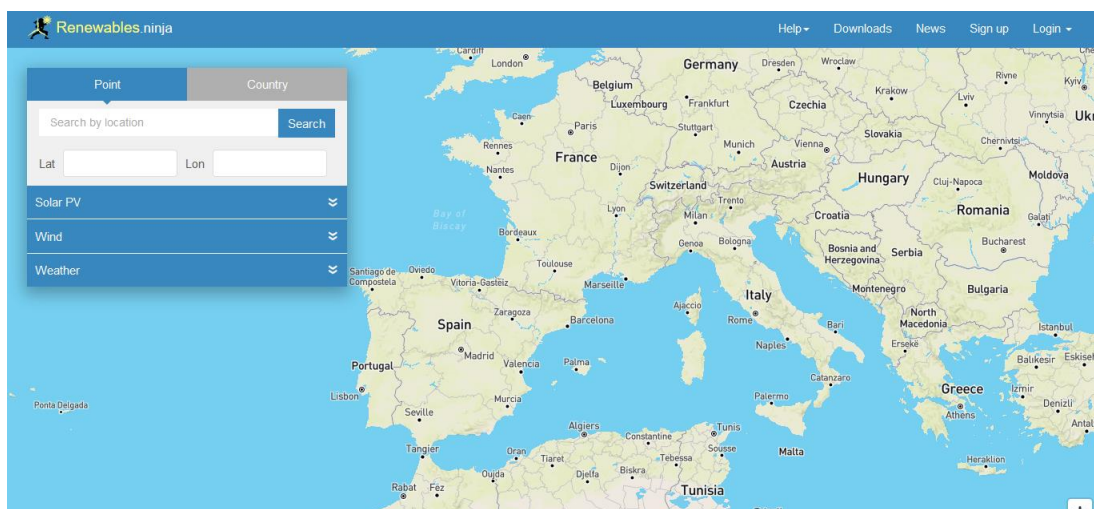


Ilustración 3.1. Interfaz gráfica Renewable Ninja [22]

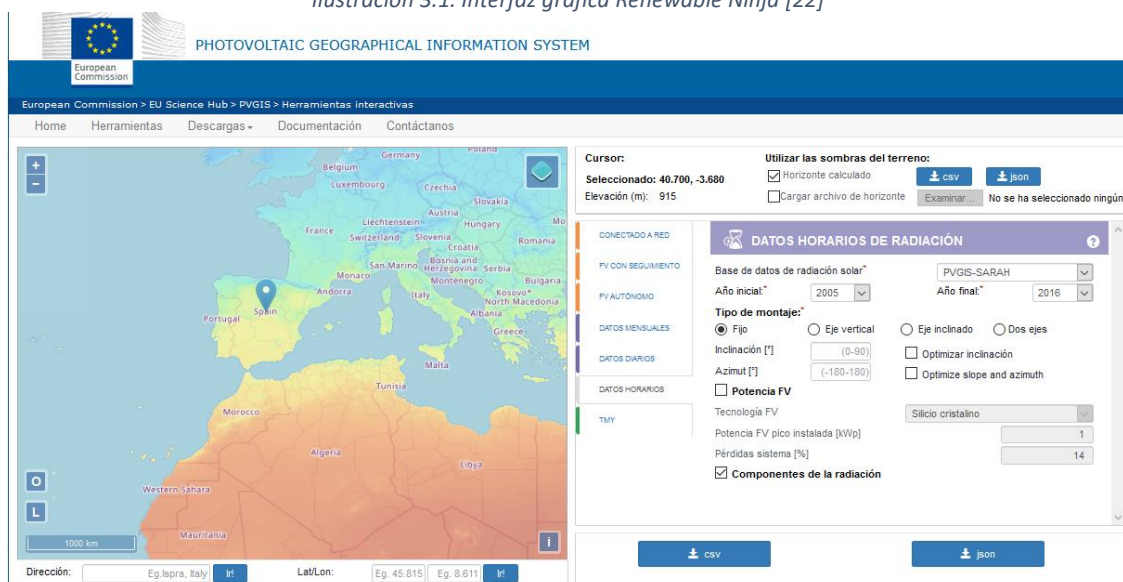


Ilustración 3.2. Interfaz gráfica PVGIS [28]

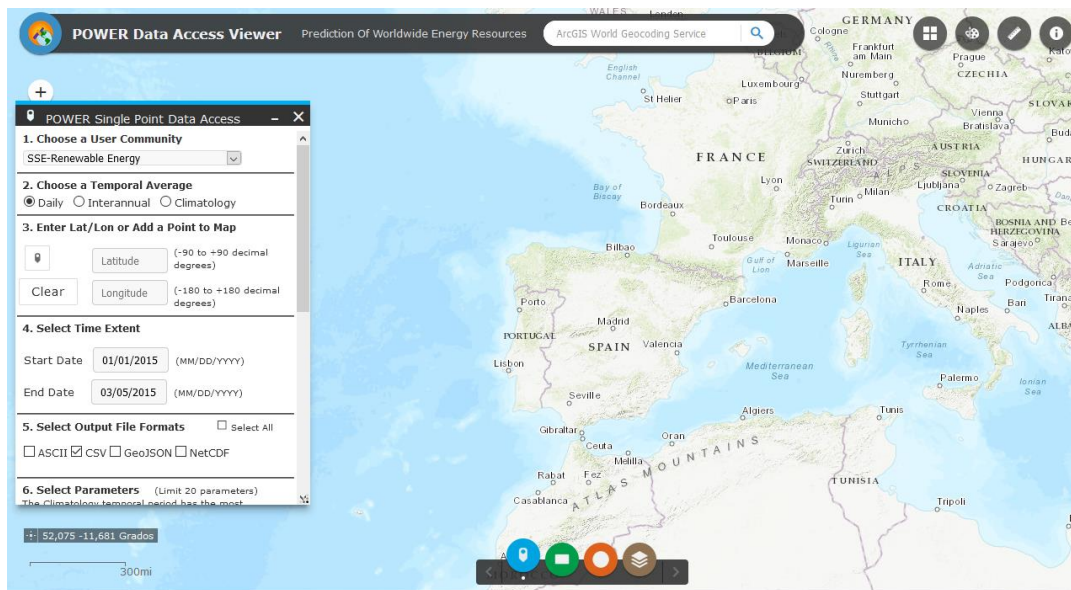


Ilustración 3.3. Interfaz gráfica NASA [4]

Los datos se descargan y se procesan en Excel [36] para crear una base de datos única que incluya para cada ciudad todos los datos diarios y de todas bases de datos que proporcionan las tres bases de datos.

Para crear las gráficas comparativas se calculan diferentes parámetros de referencia partiendo de los datos diarios, estos parámetros se calculan relacionando todas las bases de datos entre sí:

- Promedio anual de la diferencia diaria de irradiación, temperatura y viento entre bases de datos (%)
- Correlación de Pearson anual de irradiación, temperatura y viento entre bases de datos
- Diferencia de la desviación estándar anual de los datos diarios de irradiación, temperatura y viento entre bases de datos (%)
- Diferencia del factor de forma anual de viento entre bases de datos (%). El factor de forma de velocidad del viento representa la distribución de velocidades. Para la misma velocidad media, un factor de forma bajo tiene una distribución de velocidad más ancha que un factor de forma más alto, que tendrá una distribución más picuda. Esto se puede ver en la ilustración inferior en la que todas las curvas tienen una velocidad media de 6 m/s y varía el factor de forma [37].

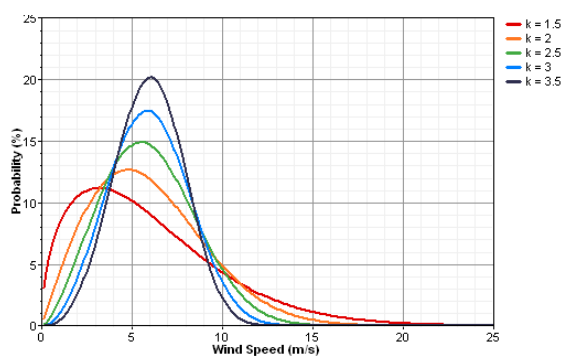


Ilustración 3.4. Distintos factores de forma para una velocidad media de viento de 6 m/s [37]

Las diferencias porcentuales se calculan como el valor de la primera base de datos citada menos el valor de la segunda base de datos citada dividido por el valor de la segunda y multiplicado por 100.

$$\text{Diferencia (\%)} = \frac{\text{valor primera BBDD} - \text{valor segunda BBDD}}{\text{valor segunda BBDD}} \times 100$$

Estos datos se importan en Power BI [38], software de Business Intelligence que sirve para modelizar y analizar datos y que permite presentarlos en paneles e informes para conseguir sacar la mayor información de los datos disponibles.

En Power BI se modelan las gráficas a partir de los datos. Estas gráficas son las que se muestran en los siguientes subapartados.

### 3.2 COMPARACIÓN NASA ENTRE SÍ

NASA solo permite descargar los datos de una única base de datos por lo que no es posible realizar esta comparación.

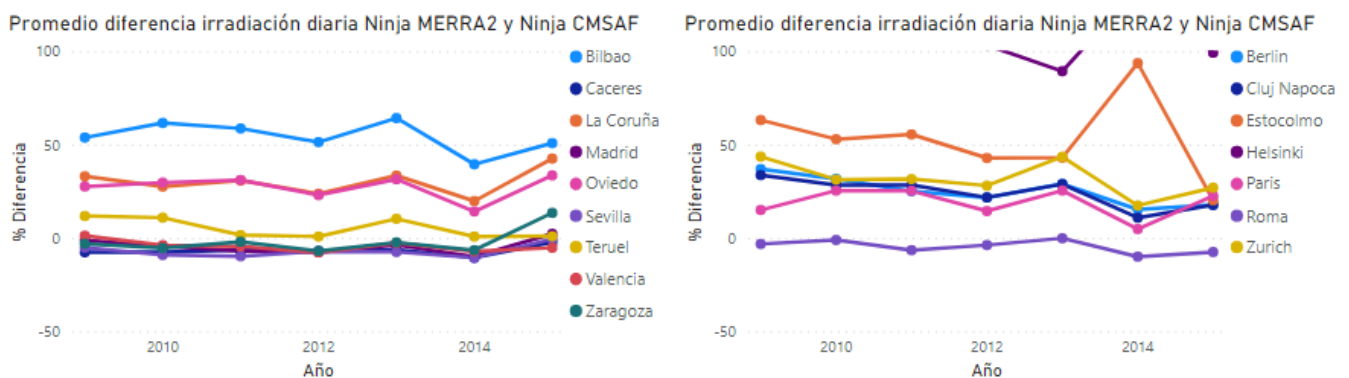
### 3.3 COMPARACIÓN RENEWABLE NINJA ENTRE SÍ

En este apartado se comparan las dos bases de datos que ofrece Renewable Ninja: MERRA-2 y CMSAF SARAH. La comparación de los datos del viento no es posible realizarla ya que CMSAF solo ofrece datos de irradiación y temperatura.

#### 3.3.1 Irradiación

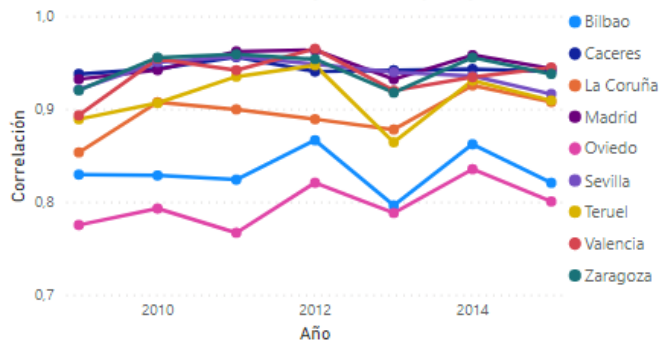
En general se observa una diferencia elevada en el promedio de irradiación diaria entre ambas bases de datos, ofreciendo MERRA-2 unos datos de irradiación diarios superiores que CMSAF para la gran mayoría de ciudades analizadas. Esta diferencia es esperada ya que utilizan fuentes de datos muy diferentes, MERRA-2 utiliza reanálisis y CMSAF datos satelitales.

Además, se observa que existe una baja correlación anual al estar todas las ciudades alejadas del valor uno. Y, la diferencia de la desviación estándar es algo elevada.

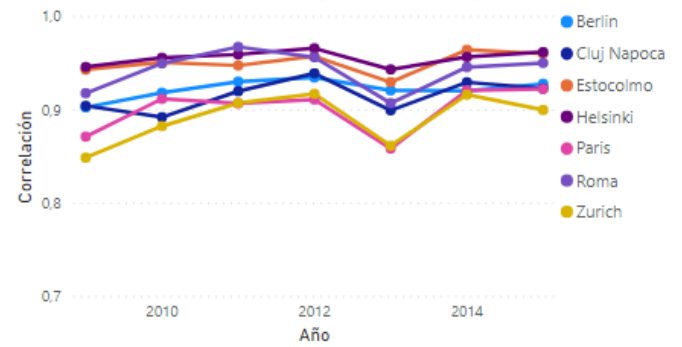


Gráfica 3.1. Promedio anual diferencia irradiación diaria Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF

Correlación irradiación anual Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF

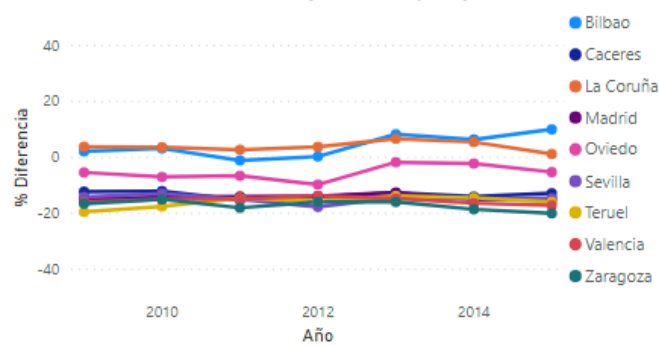


Correlación irradiación anual Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF

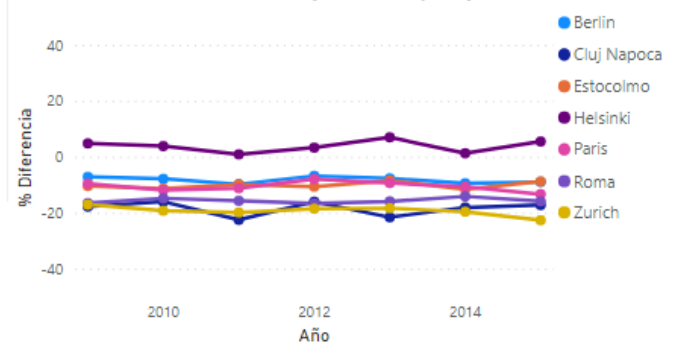


Gráfica 3.2. Correlación irradiación anual Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF

Desviación irradiación diaria Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF



Desviación irradiación diaria Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF

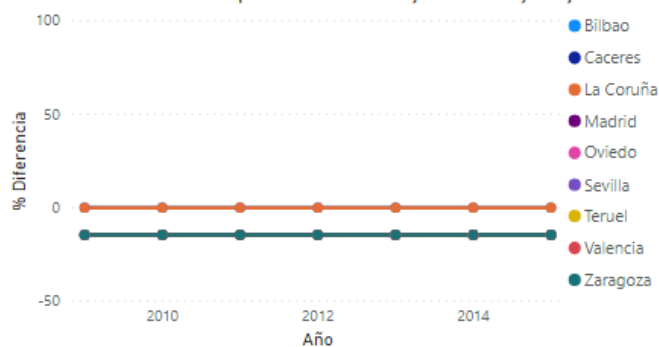


Gráfica 3.3. Diferencia desviación anual de irradiación diaria Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF

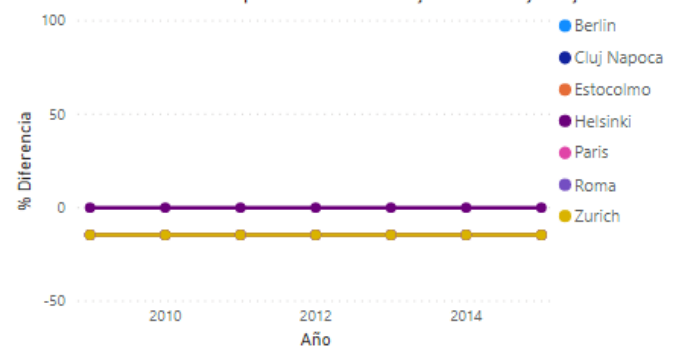
### 3.3.2 Temperatura

La diferencia de temperaturas entre ambas bases de datos es constante para todos años, siendo la diferencia nula o de un 15%. Esto es debido a que dependiendo de la ubicación de la ciudad el algoritmo que utiliza Renewable Ninja decide si utiliza un multiplicador para diferenciar los datos de MERRA2 y CMSAF.

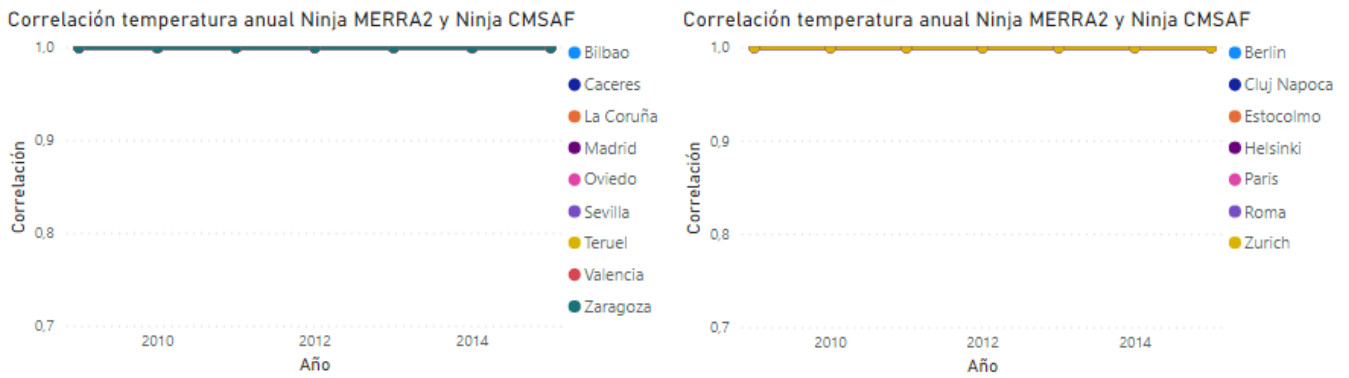
Promedio diferencia temperatura diaria Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF



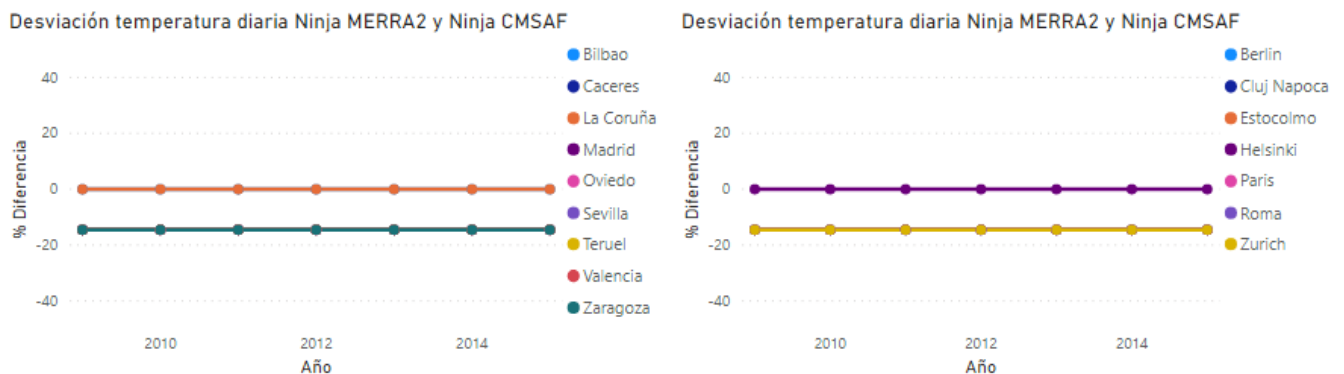
Promedio diferencia temperatura diaria Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF



Gráfica 3.4. Promedio anual diferencia temperatura diaria Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF



Gráfica 3.5. Correlación temperatura anual Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF



Gráfica 3.6. Diferencia desviación anual de temperatura diaria Ninja MERRA2 y Ninja CMSAF

### 3.4 COMPARACIÓN PVGIS ENTRE SÍ

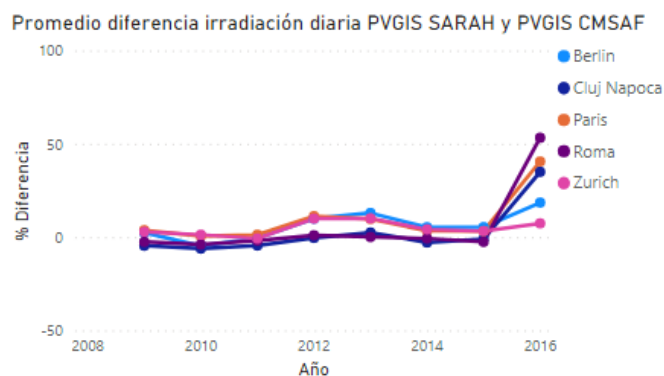
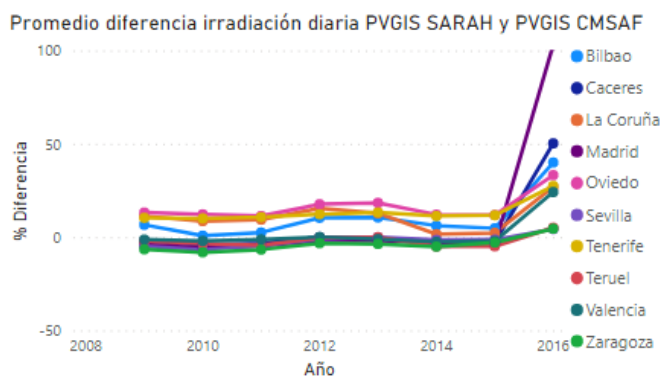
En este apartado se comparan las cuatro bases de datos que ofrece PVGIS para las ubicaciones elegidas, al ser ciudades europeas las bases disponibles son: SARA, CMSAF, ERA5 y COSMO.

Estas cuatro bases de datos contienen exactamente los mismos valores de temperatura y viento por lo que la comparación se realiza solo de los valores de irradiación.

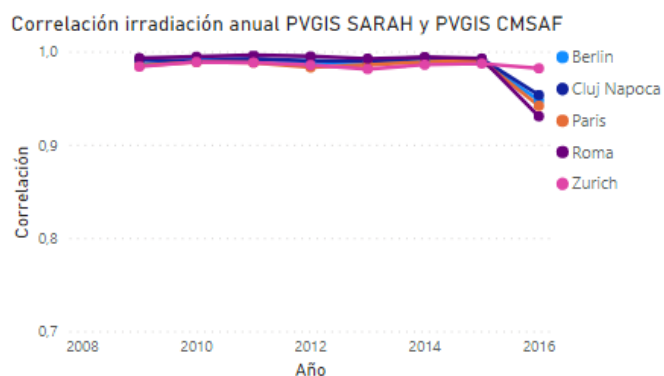
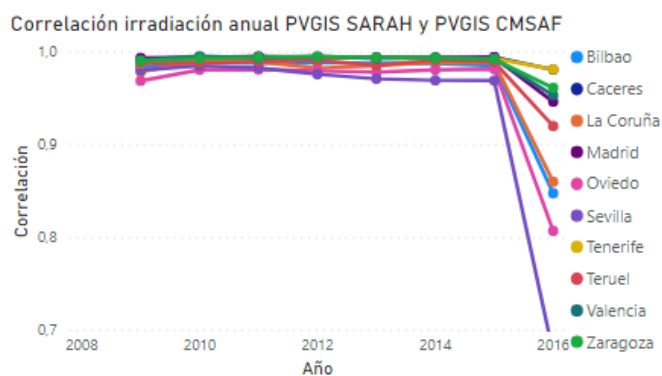
#### 3.4.1 Comparación irradiación SARA vs CMSAF

Para todas las ciudades se obtiene una diferencia baja en el promedio anual de irradiación diaria entre ambas bases de datos. La correlación es muy buena, estando muy próxima a uno para todas las ciudades y la desviación estándar anual de los datos diarios es baja, siendo la máxima de un 8%. Esto ocurre con todos los años excepto en 2016 que, por motivos desconocidos, PVGIS cambió la manera de procesar los datos para alguna de estas dos bases de datos lo que hizo que la diferencia entre los datos fuera elevada, esto lo muestran todas las gráficas.

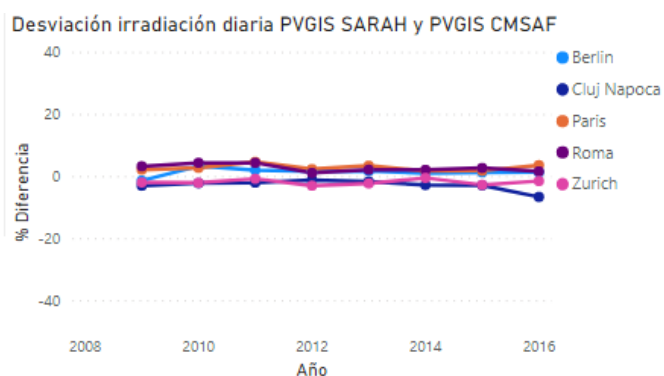
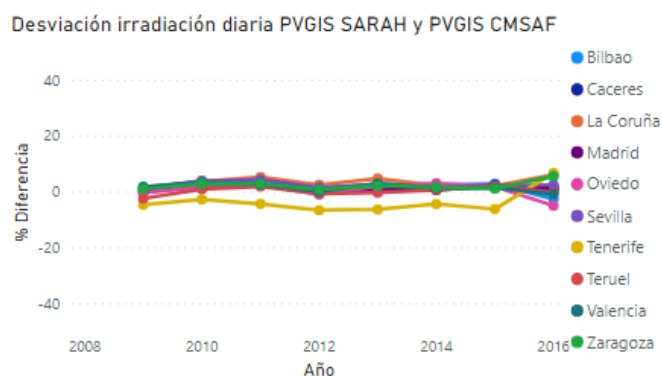
Como resumen se puede decir que ambas bases de datos tienen unos datos muy parecidos de irradiación hasta 2015 (ambas bases de datos obtienen sus datos mediante métodos satelitales), en 2016 hay gran diferencia y no se sabe si a partir de 2016 las diferencias se mantienen o siguen siendo datos parecidos como en el periodo anterior.



Gráfica 3.7. Promedio anual diferencia irradiación diaria PVGIS SARAH y PVGIS CMSAF



Gráfica 3.8. Correlación irradiación anual PVGIS SARAH y PVGIS CMSAF



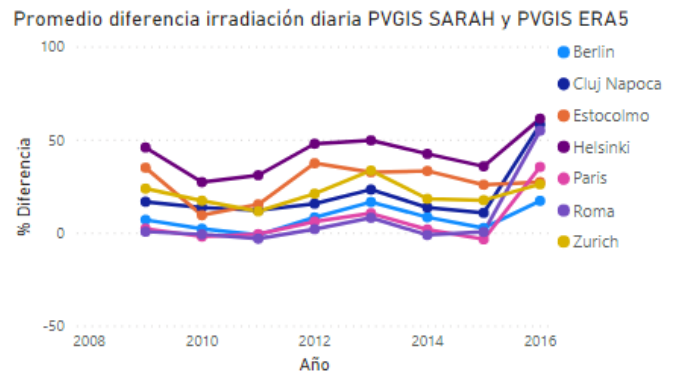
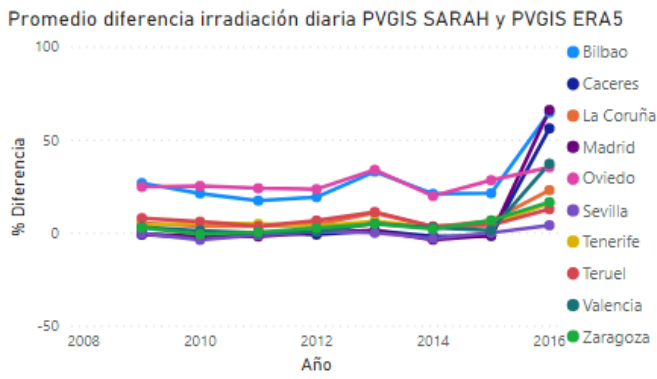
Gráfica 3.9. Diferencia desviación anual de irradiación diaria PVGIS SARAH y PVGIS CMSAF

### 3.4.2 Comparación irradiación SARAH vs ERA5

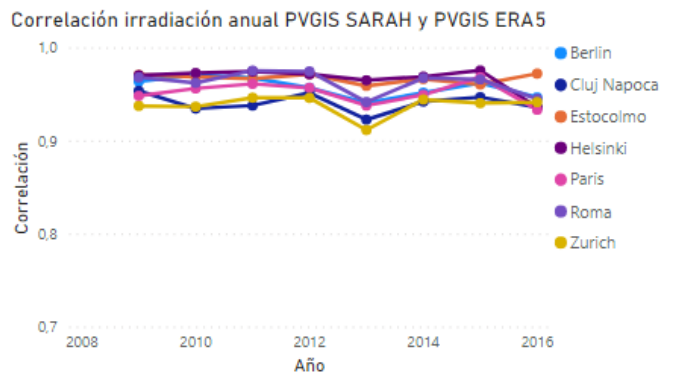
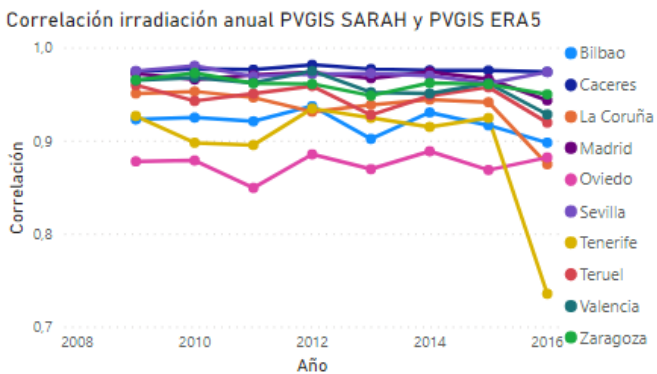
En este caso la diferencia entre los datos de SARAH y ERA5 es superior a la de la comparación anterior, sobre todo en los países ubicados más hacia el norte. Esta diferencia es debida a que SARAH utiliza métodos satelitales en la obtención de datos y ERA5 métodos de reanálisis y por ello SARAH es menos precisa en los países del norte mientras que ERA5 es más precisa en estos países, lo que hace aumentar las diferencias.

Al igual que en la comparación anterior, se puede ver que la diferencia de datos en 2016 respecto a los años anteriores es mayor, aunque esta diferencia no es tan acusada como en la comparación anterior.

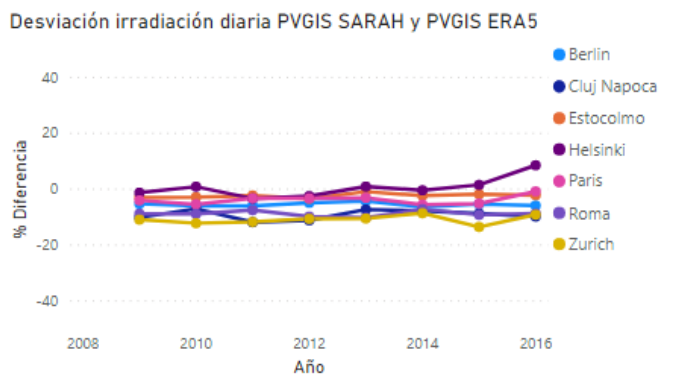
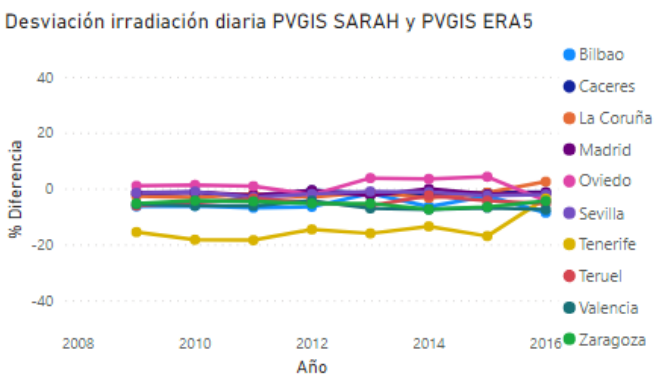




Gráfica 3.10. Promedio anual diferencia irradiación diaria PVGIS SARAH y PVGIS ERA5



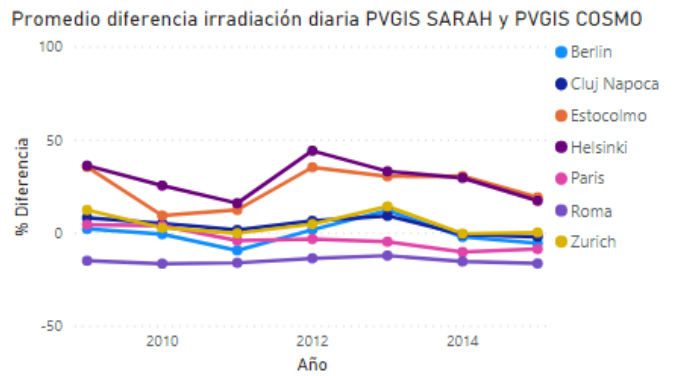
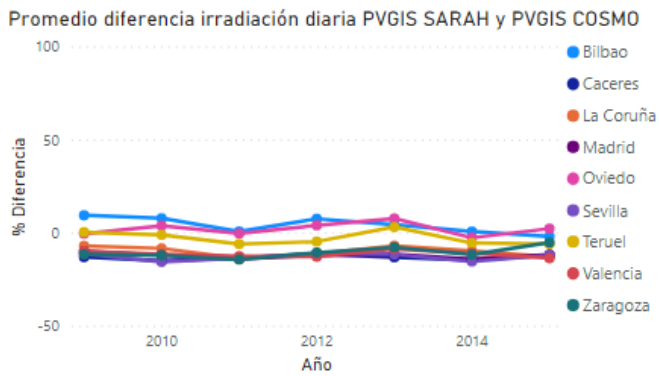
Gráfica 3.11. Correlación irradiación anual PVGIS SARAH y PVGIS ERA5



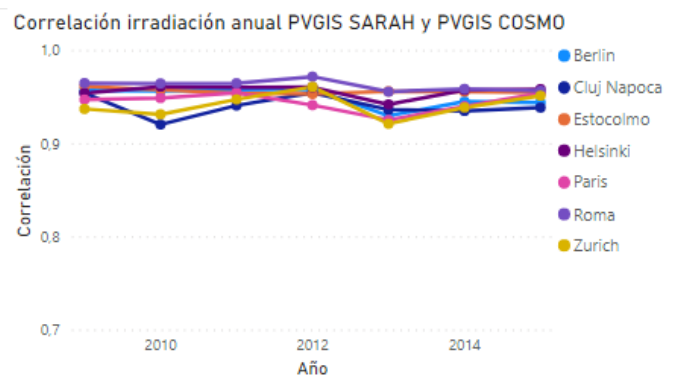
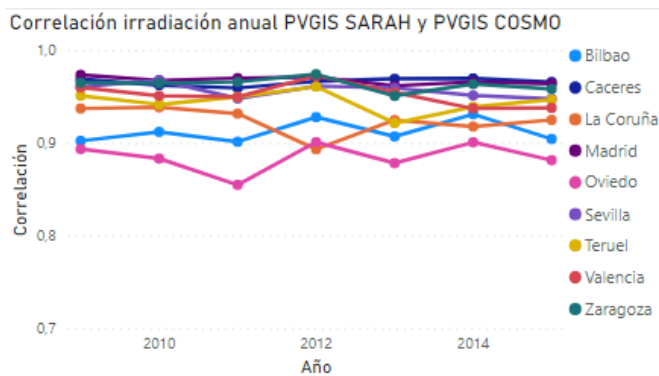
Gráfica 3.12. Diferencia desviación anual de irradiación diaria PVGIS SARAH y PVGIS ERA5

### 3.4.3 Comparación irradiación SARAH vs COSMO

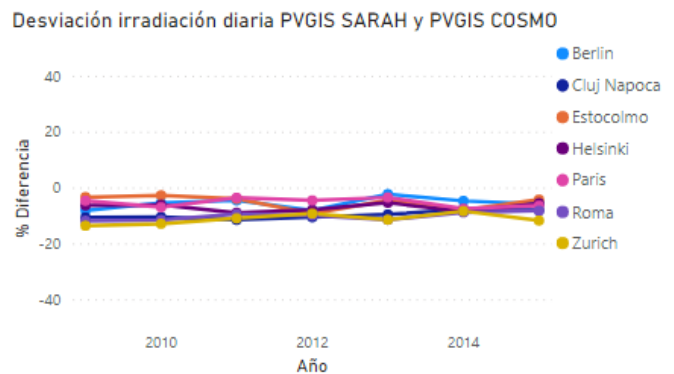
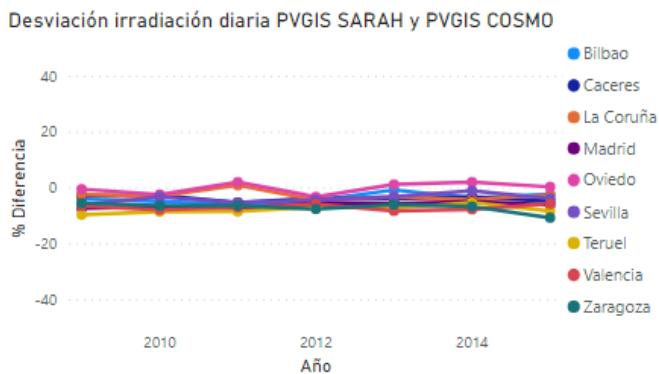
En este caso ocurre como en la comparación anterior, SARAH emplea como fuentes de datos imágenes satelitales y COSMO reanálisis. Esto implica una diferencia entre las bases de datos por el mismo motivo explicado, aunque esta diferencia es menor que en el caso anterior.



Gráfica 3.13. Promedio anual diferencia irradiación diaria PVGIS SARAH y PVGIS COSMO



Gráfica 3.14. Correlación irradiación anual PVGIS SARAH y PVGIS COSMO



Gráfica 3.15. Diferencia desviación anual de irradiación diaria PVGIS SARAH y PVGIS COSMO

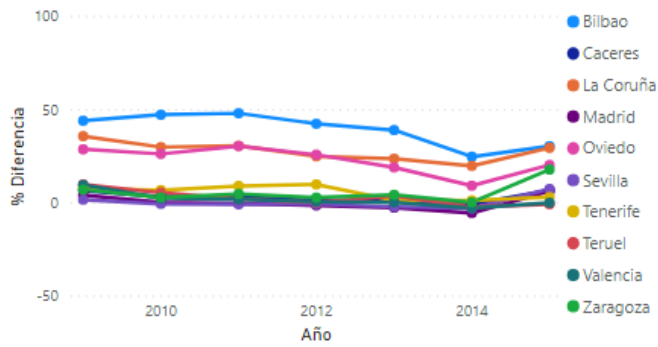
### 3.5 COMPARACIÓN NASA CONTRA RENEWABLE NINJA

Para esta comparación se emplea en Renewable Ninja CMSAF SARAH para temperatura e irradiación y MERRA-2 para viento.

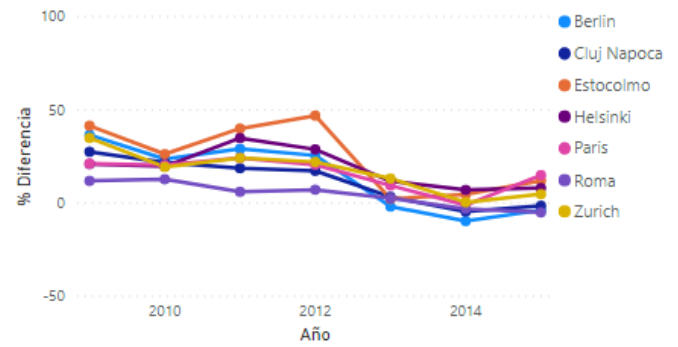
#### 3.5.1 Irradiación

Por un lado, se observa que la diferencia en irradiación entre ambas bases de datos disminuye con el paso de los años, sobre todo en las ciudades con una menor irradiación incidente (ciudades del norte). La diferencia es moderada entre ambas bases de datos y no varía abruptamente de un año para el otro. La base de datos NASA proporciona unos valores de irradiación diaria promedio más elevados que Renewable Ninja.

Promedio diferencia irradiación diaria NASA y Renewable Ninja

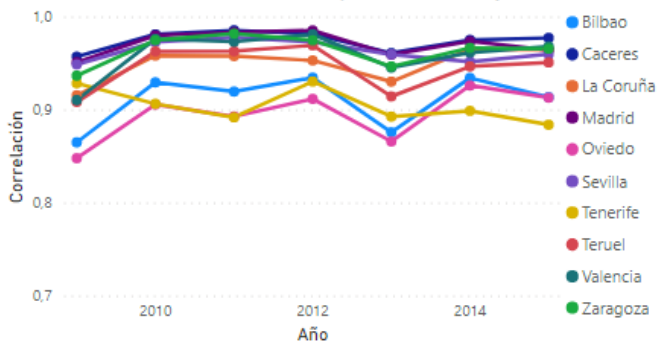


Promedio diferencia irradiación diaria NASA y Renewable Ninja

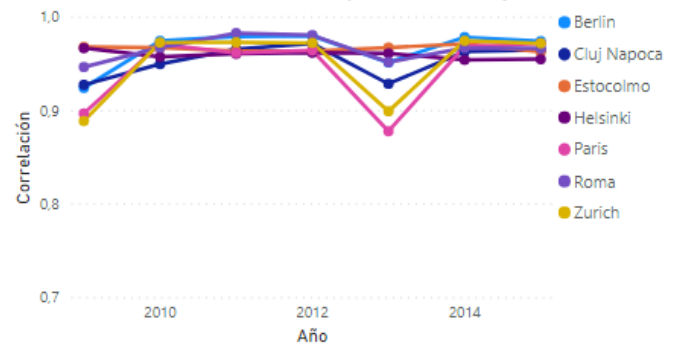


Gráfica 3.16. Promedio anual diferencia irradiación diaria NASA y Renewable Ninja

Correlación irradiación anual NASA y Renewable Ninja

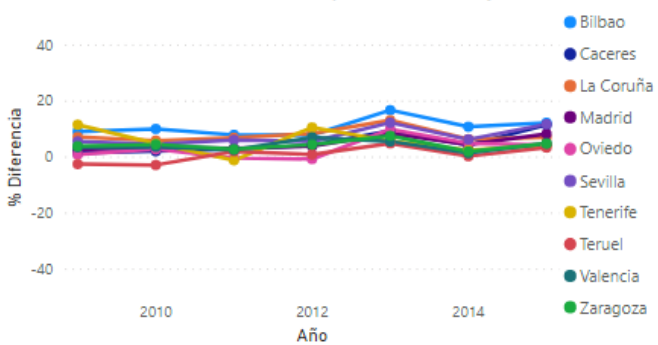


Correlación irradiación anual NASA y Renewable Ninja

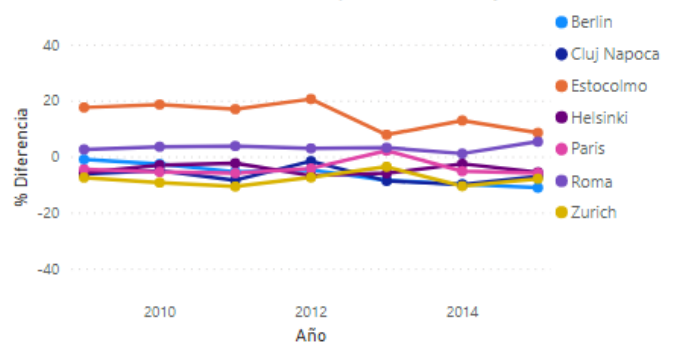


Gráfica 3.17. Correlación irradiación anual NASA y Renewable Ninja

Desviación irradiación diaria NASA y Renewable Ninja



Desviación irradiación diaria NASA y Renewable Ninja

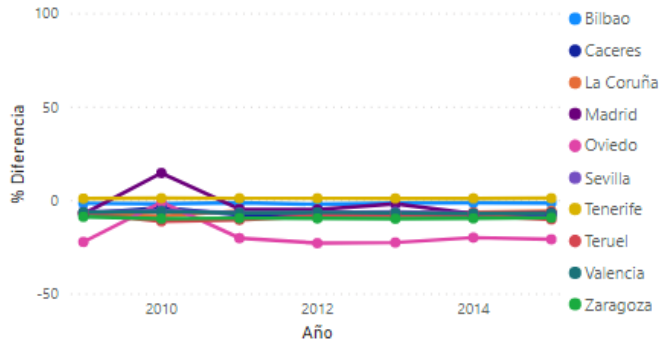


Gráfica 3.18. Diferencia desviación anual de irradiación diaria NASA y Renewable Ninja

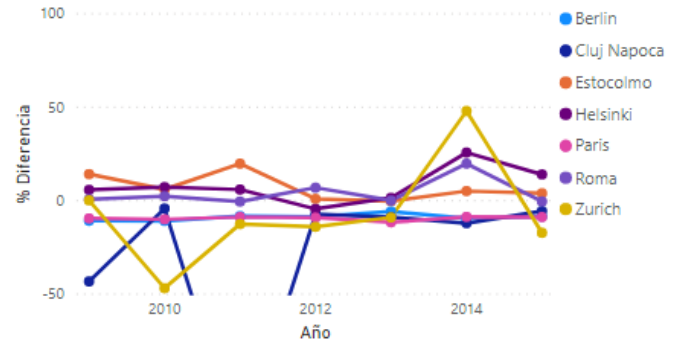
### 3.5.2 Temperatura

En las gráficas se ve que la diferencia entre los datos de temperatura de las dos bases de datos es baja para las ciudades con unas temperaturas elevadas mientras que en las ciudades con temperaturas más bajas esta diferencia entre bases de datos aumenta y, además, la variación entre años es mayor. En este caso Renewable Ninja da datos más altos de temperatura diaria media que NASA para casi todas las ciudades.

Promedio diferencia temperatura diaria NASA y Renewable Ninja

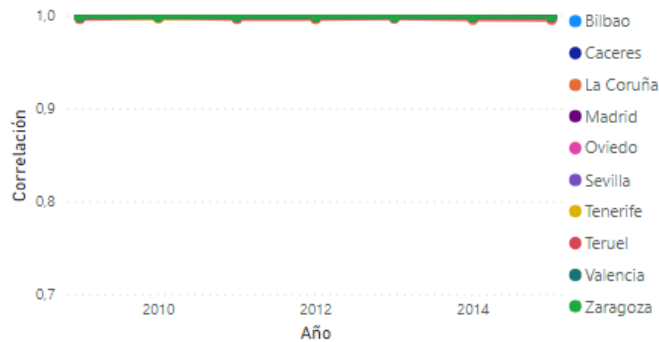


Promedio diferencia temperatura diaria NASA y Renewable Ninja

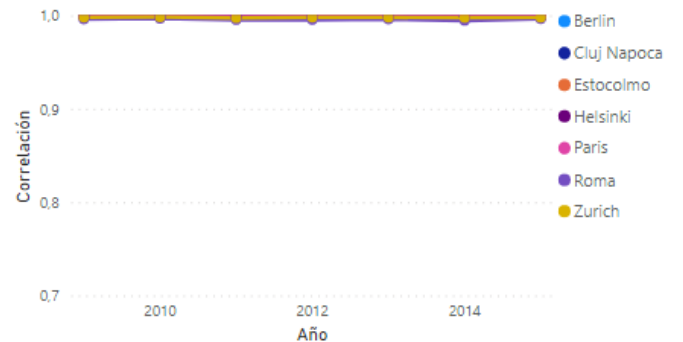


Gráfica 3.19. Promedio anual diferencia temperatura diaria NASA y Renewable Ninja

Correlación temperatura anual NASA y Renewable Ninja

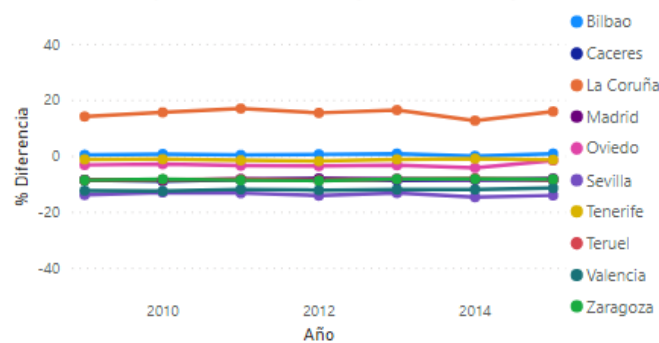


Correlación temperatura anual NASA y Renewable Ninja

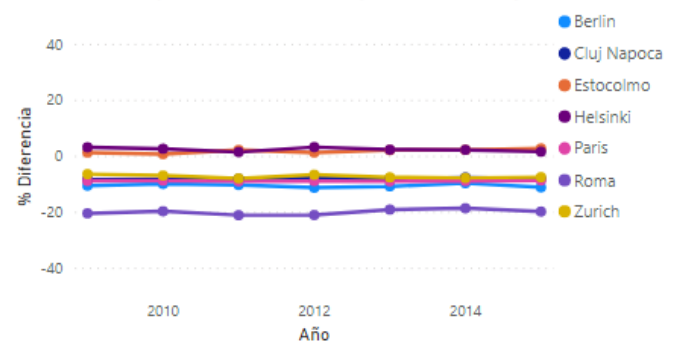


Gráfica 3.20. Correlación temperatura anual NASA y Renewable Ninja

Desviación temperatura diaria NASA y Renewable Ninja



Desviación temperatura diaria NASA y Renewable Ninja

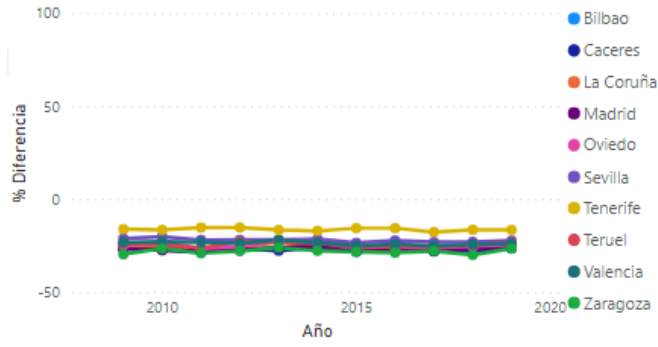


Gráfica 3.21. Diferencia desviación anual de temperatura diaria NASA y Renewable Ninja

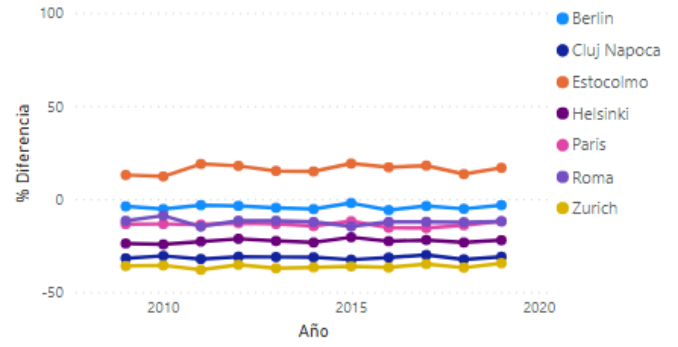
### 3.5.3 Viento

La diferencia de velocidad de viento entre estas dos bases de datos es moderada para las ciudades ubicadas más al sur y algo más elevada para las ciudades ubicadas más hacia el norte. Además, para las ciudades españolas la diferencia de todas las ciudades para todos los años se mantiene entorno al 20% y es constante con el paso de los años, NASA estima que la velocidad de viento media diaria es superior a la de Renewable Ninja.

Promedio diferencia viento diario NASA y Renewable Ninja

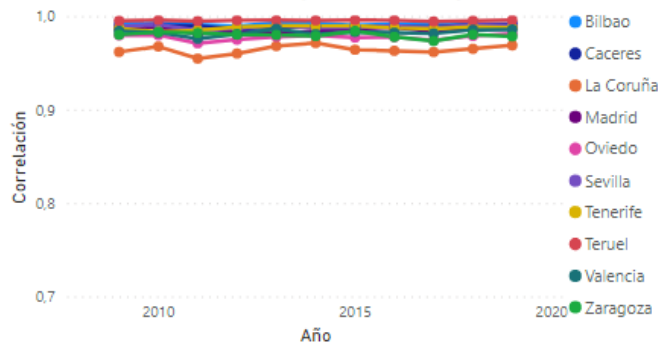


Promedio diferencia viento diario NASA y Renewable Ninja

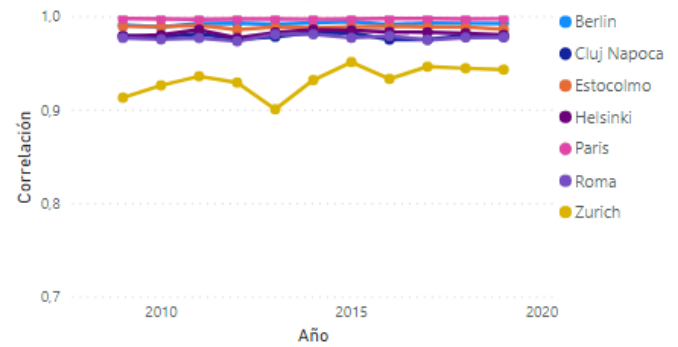


Gráfica 3.22. Promedio anual diferencia viento diario NASA y Renewable Ninja

Correlación viento anual NASA y Renewable Ninja

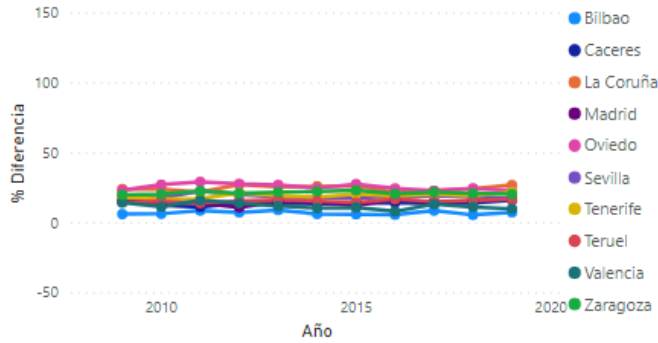


Correlación viento anual NASA y Renewable Ninja

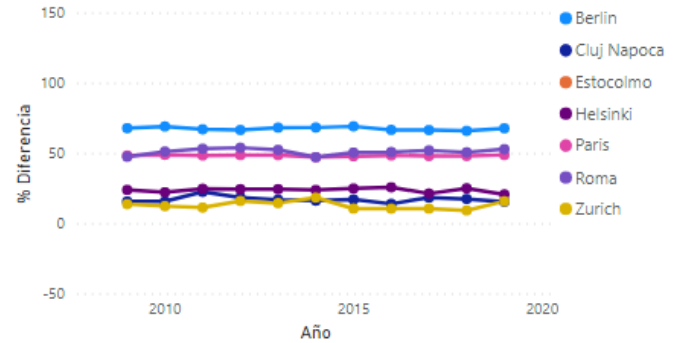


Gráfica 3.23. Correlación viento anual NASA y Renewable Ninja

Desviación viento diario NASA y Renewable Ninja

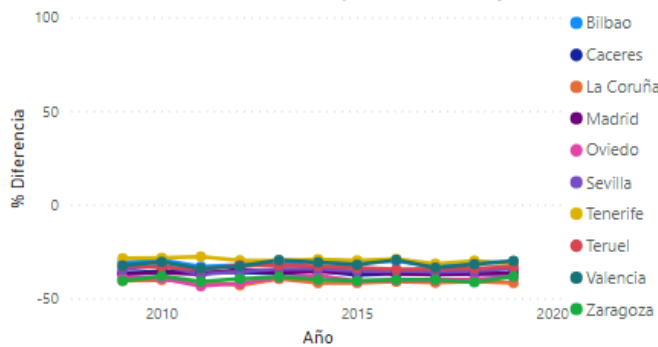


Desviación viento diario NASA y Renewable Ninja

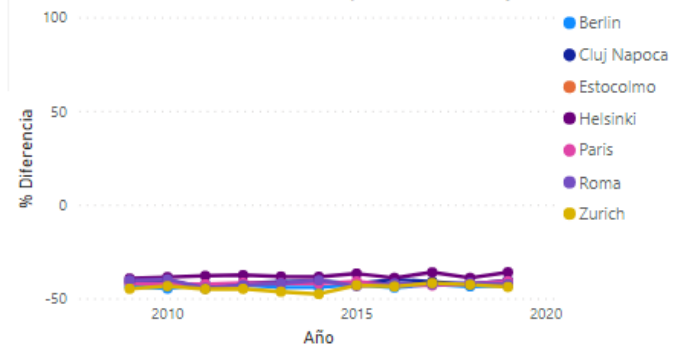


Gráfica 3.24. Diferencia desviación anual de viento diario NASA y Renewable Ninja

Factor de forma viento anual NASA y Renewable Ninja



Factor de forma viento anual NASA y Renewable Ninja



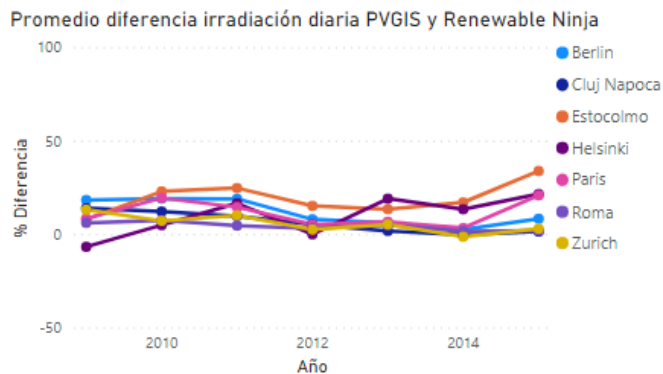
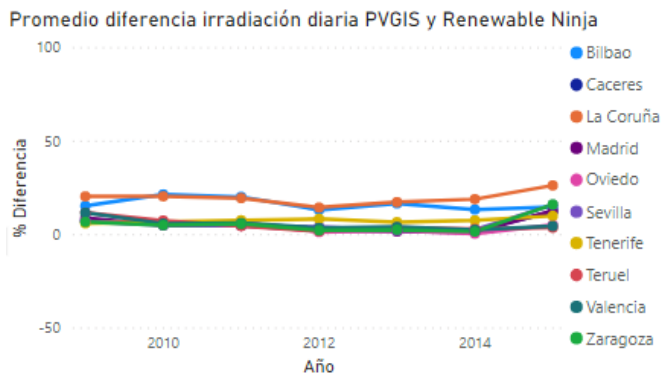
Gráfica 3.25. Diferencia de factor de forma anual de viento NASA y Renewable Ninja

### 3.6 COMPARACIÓN PVGIS CONTRA RENEWABLE NINJA

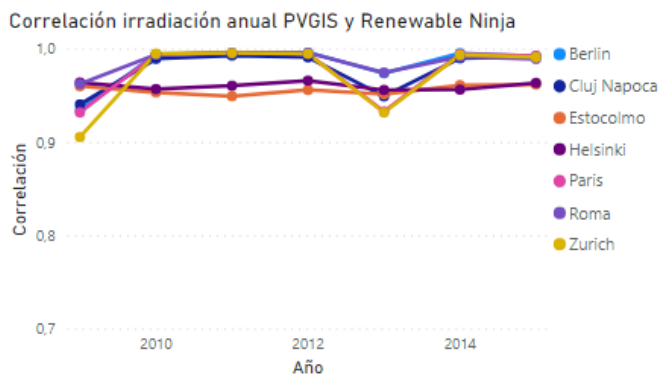
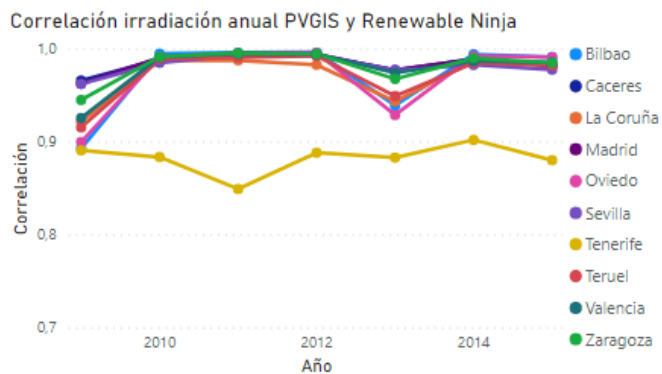
Para esta comparación se emplea la base de datos SARA H de PVGIS y CMSAF SARA H para temperatura e irradiación y MERRA-2 para viento en Renewable Ninja.

#### 3.6.1 Irradiación

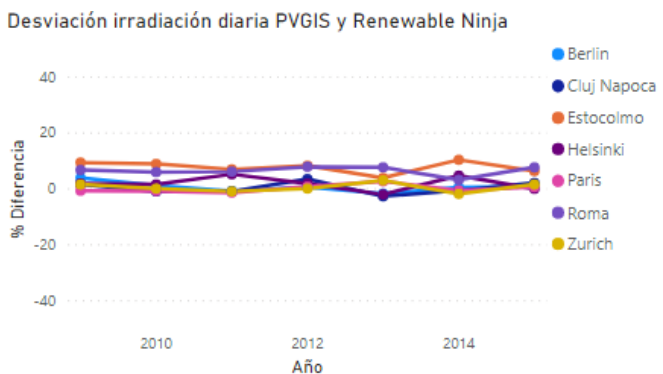
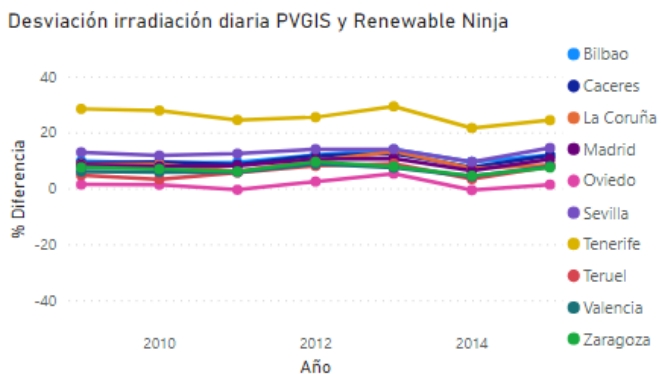
Se observa que la diferencia de irradiación entre estas dos bases de datos es baja y PVGIS estima una irradiación diaria media mayor que Renewable Ninja. También se observa que el índice de correlación es en general bueno excepto para el año 2013, que en todas las ubicaciones disminuye notablemente.



Gráfica 3.26. Promedio anual diferencia irradiación diaria PVGIS y Renewable Ninja



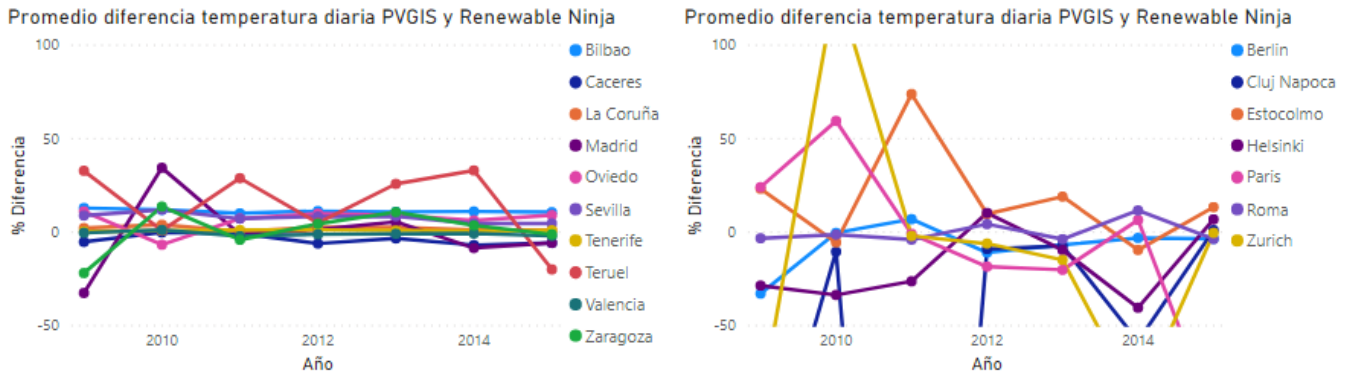
Gráfica 3.27. Correlación irradiación anual PVGIS y Renewable Ninja



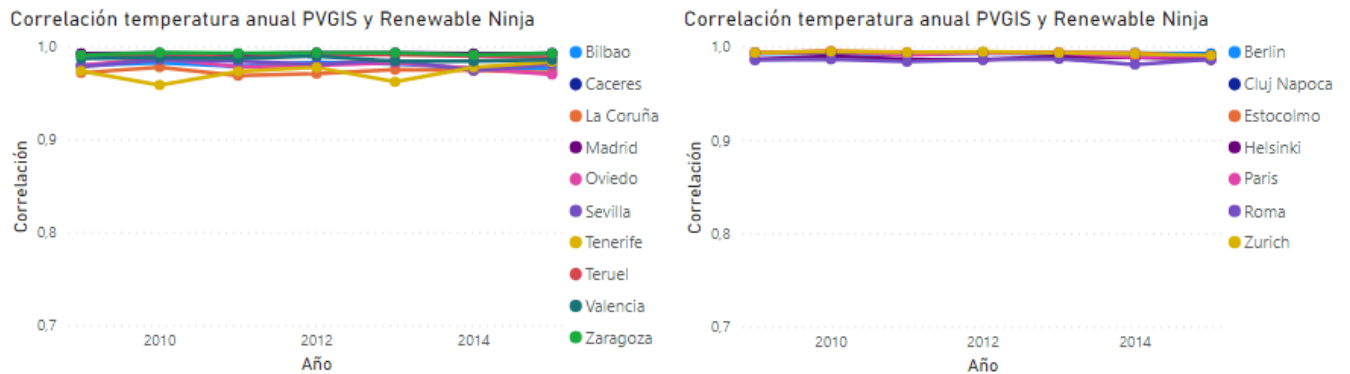
Gráfica 3.28. Diferencia desviación anual de irradiación diaria PVGIS y Renewable Ninja

### 3.6.2 Temperatura

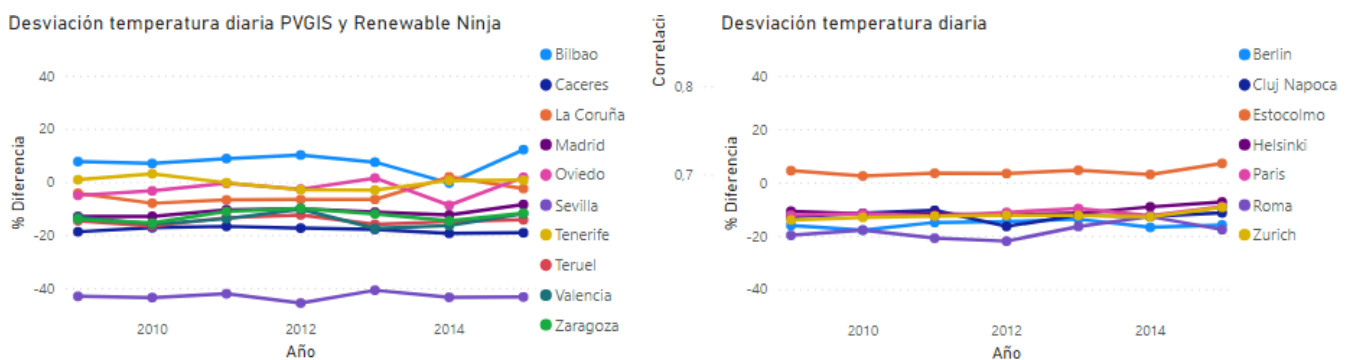
La diferencia de temperatura entre ambas bases de datos es constante a lo largo de los años y con un valor bajo en las ciudades españolas, pero ocurre todo lo contrario con el resto de ciudades europeas, tienen una variación anual muy grande y además la diferencia entre bases de datos también llega a ser muy elevada. Pese a ello la diferencia en la desviación diaria de los datos es similar para todas las ciudades y lo mismo ocurre con la correlación.



Gráfica 3.29. Promedio anual diferencia temperatura diaria PVGIS y Renewable Ninja



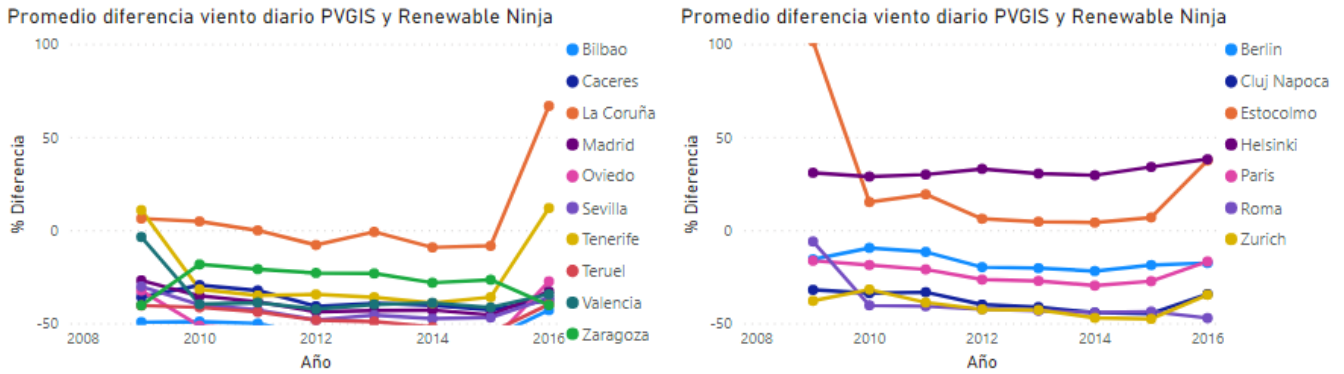
Gráfica 3.30. Correlación temperatura anual PVGIS y Renewable Ninja



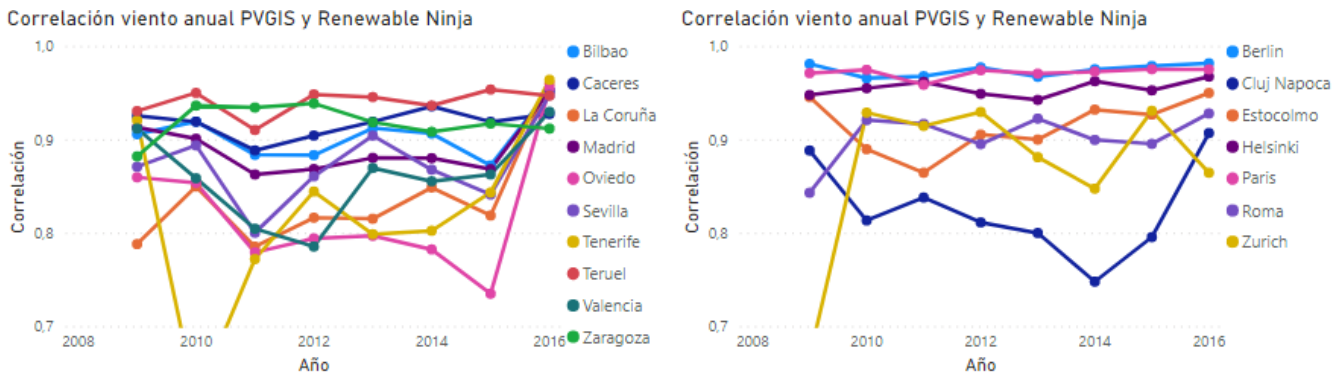
Gráfica 3.31. Diferencia desviación anual de temperatura diaria PVGIS y Renewable Ninja

### 3.6.3 Viento

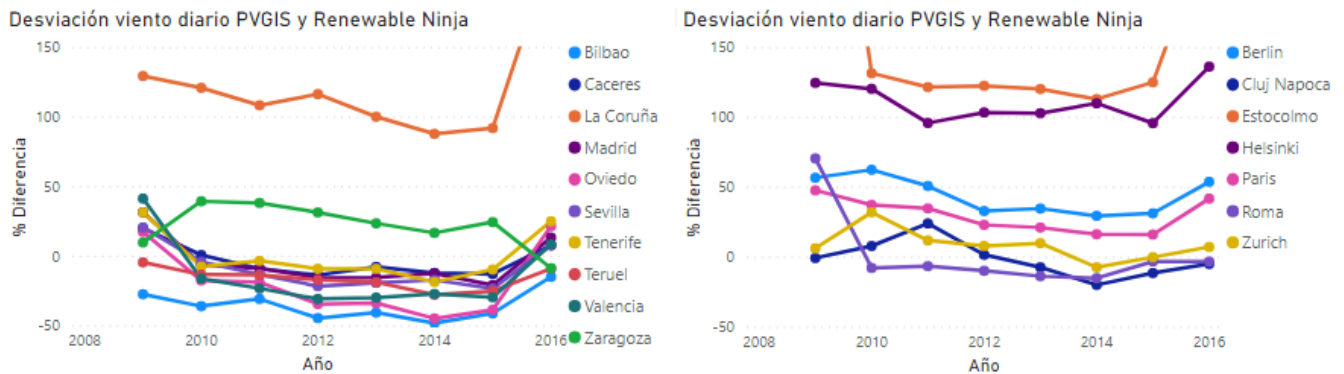
En los siguientes gráficos se ve la gran diferencia existente entre estas dos bases de datos en la velocidad media diaria del viento. El índice de correlación es muy bajo y cambiante con los años para todas las ciudades, la diferencia en desviación también es muy cambiante con los años y la diferencia del factor de forma anual es alta. Se ve que para la gran mayoría de ciudades la velocidad media diaria es superior en la base de datos Renewable Ninja.



Gráfica 3.32. Promedio anual diferencia viento diario PVGIS y Renewable Ninja



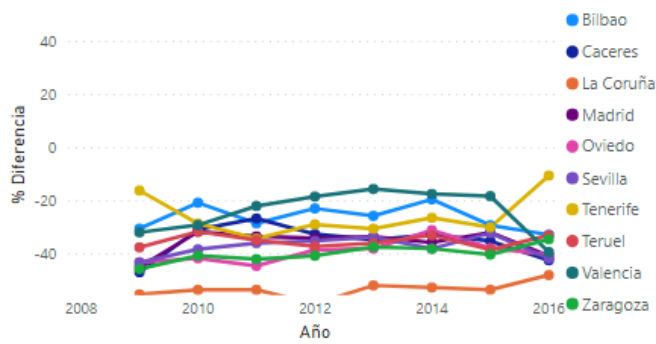
Gráfica 3.33. Correlación viento anual PVGIS y Renewable Ninja



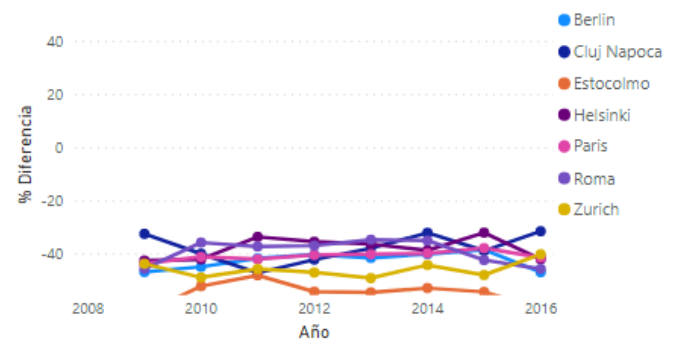
Gráfica 3.34. Diferencia desviación anual de viento diario PVGIS y Renewable Ninja



Factor de forma viento anual PVGIS y Renewable Ninja



Factor de forma viento anual PVGIS y Renewable Ninja



Gráfica 3.35. Diferencia de factor de forma anual de viento PVGIS y Renewable Ninja

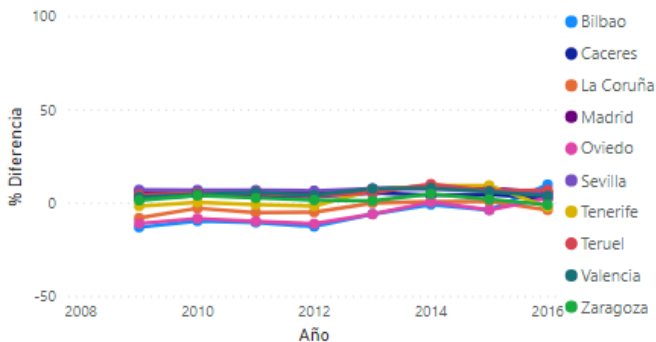
### 3.7 COMPARACIÓN PVGIS CONTRA NASA

Para esta comparación se emplea la base de datos SARAH de PVGIS al igual que en el caso anterior.

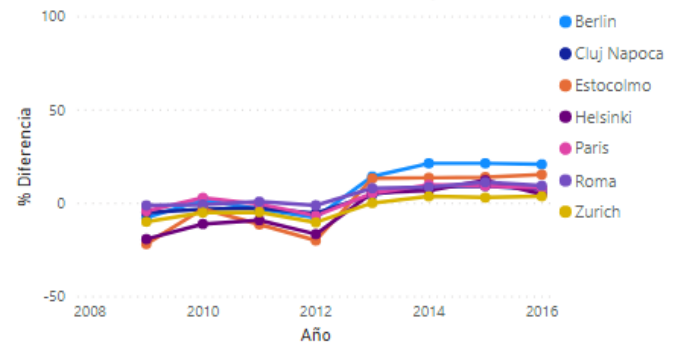
#### 3.7.1 Irradiación

La diferencia en la irradiación diaria media anual es baja para todas las ubicaciones analizadas, que está cercana al 0% en todos los casos. Ocurre lo mismo con la diferencia de desviación estándar. Esto significa que ambas bases de datos ofrecen datos muy parecidos para todos los días.

Promedio diferencia irradiación diaria PVGIS y NASA

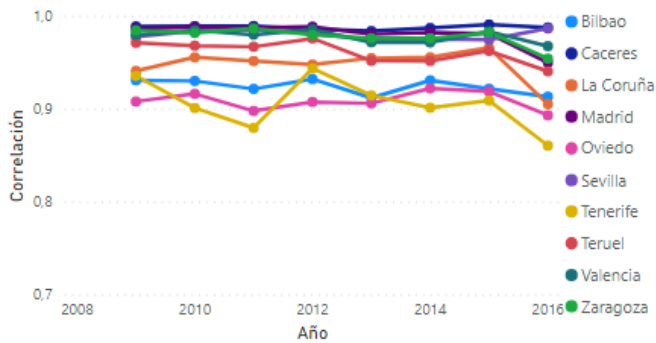


Promedio diferencia irradiación diaria PVGIS y NASA

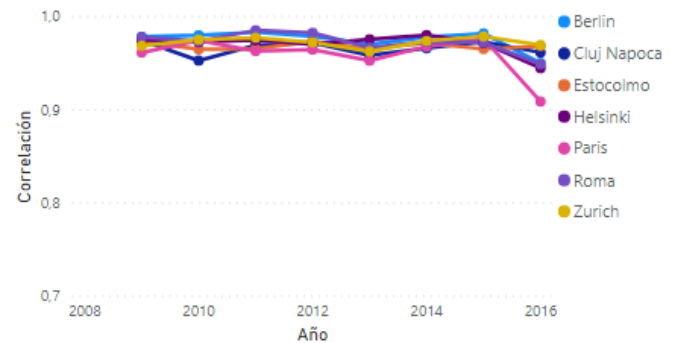


Gráfica 3.36. Promedio anual diferencia irradiación diaria PVGIS y NASA

Correlación irradiación anual PVGIS y NASA

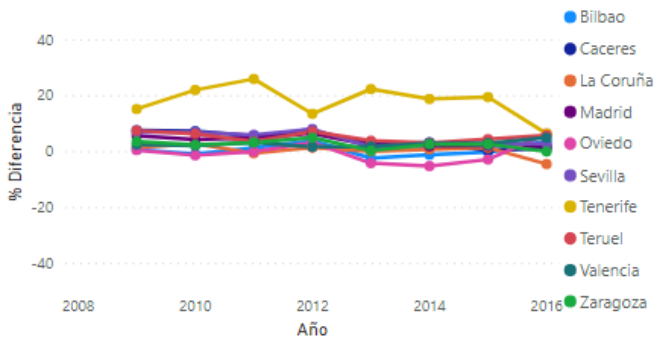


Correlación irradiación anual PVGIS y NASA

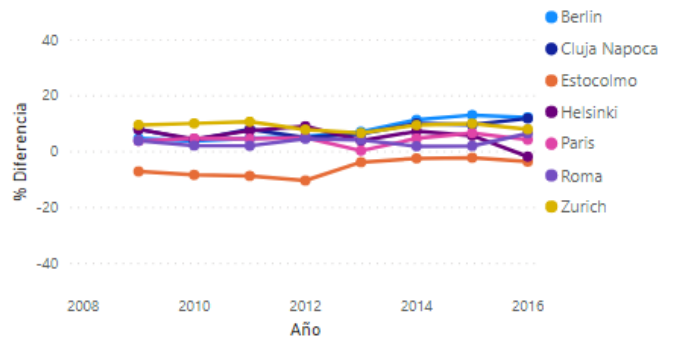


Gráfica 3.37. Correlación irradiación anual PVGIS y NASA

Desviación irradiación diaria PVGIS y NASA



Desviación irradiación diaria PVGIS y NASA

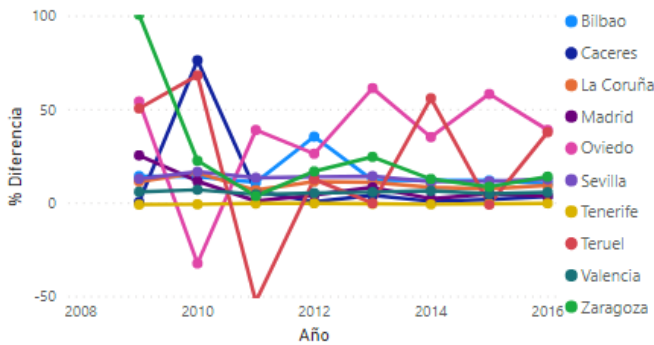


Gráfica 3.38. Diferencia desviación anual de irradiación diaria PVGIS y NASA

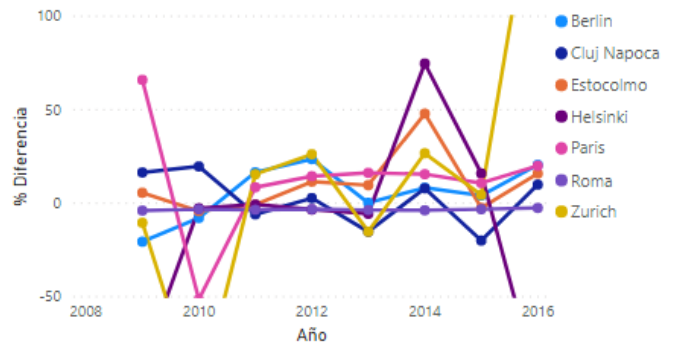
### 3.7.2 Temperatura

La diferencia de la temperatura media diaria para estas bases de datos es moderada para algunas ubicaciones y elevadas para otras ubicaciones. Cabe destacar que para algunas ciudades la variación de diferencias entre años es muy alta. Por otro lado, la correlación entre estas dos bases de datos es cercana a uno y, para la gran mayoría de ubicaciones y años PVGIS estima una temperatura media diaria mayor.

Promedio diferencia temperatura diaria PVGIS y NASA

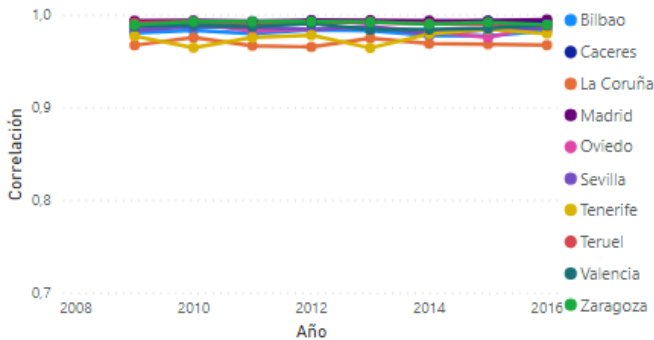


Promedio diferencia temperatura diaria PVGIS y NASA

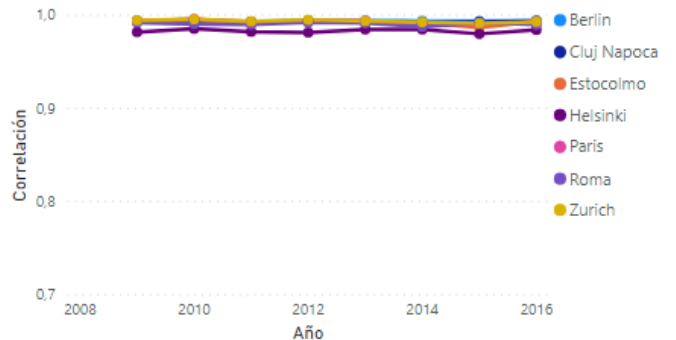


Gráfica 3.39. Promedio anual diferencia temperatura diaria PVGIS y NASA

Correlación temperatura anual PVGIS y NASA

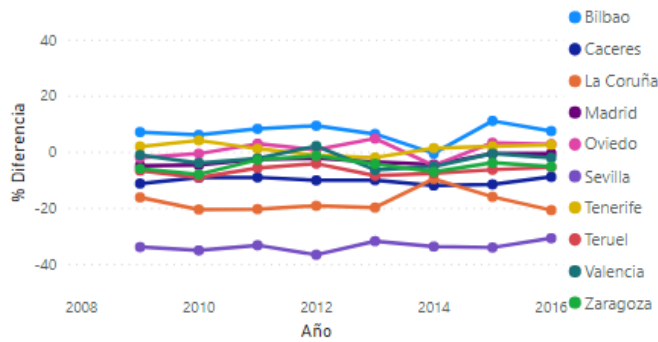


Correlación temperatura anual PVGIS y NASA

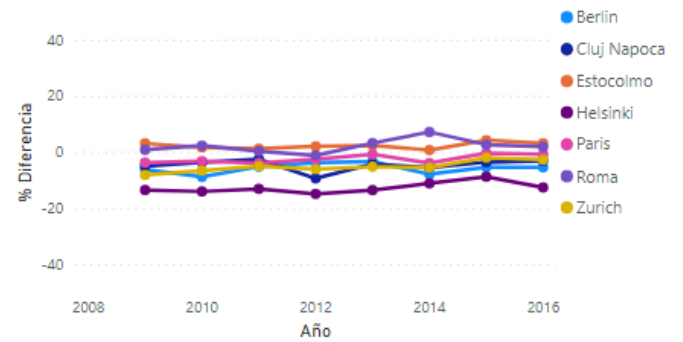


Gráfica 3.40. Correlación temperatura anual PVGIS y NASA

Desviación temperatura diaria PVGIS y NASA



Desviación temperatura diaria PVGIS y NASA

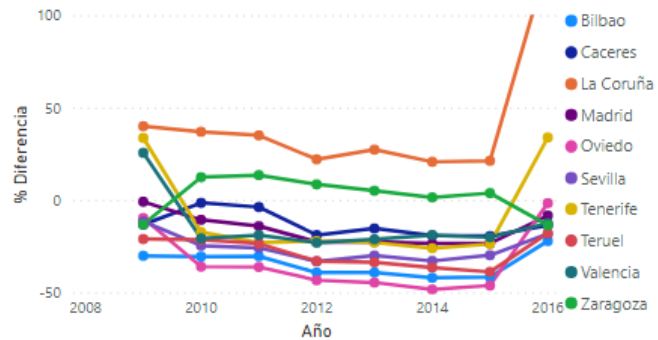


Gráfica 3.41. Diferencia desviación anual de temperatura diaria PVGIS y NASA

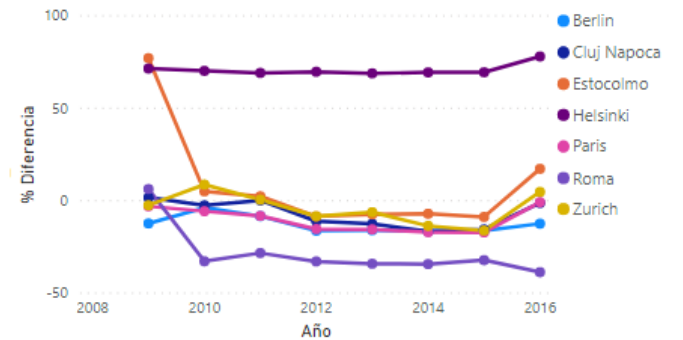
### 3.7.3 Viento

La diferencia de velocidad de viento entre estas dos bases de datos es moderada para la gran mayoría de ubicaciones, aunque se puede ver que en ubicaciones con bajo recurso eólico la diferencia es bastante más elevada. La correlación es baja para todas las ubicaciones y además varía bastante con los años. Por otro lado, la diferencia entre factores de forma anuales del viento es la mayor analizada en las tres comparativas entre bases de datos.

Promedio diferencia viento diario PVGIS y NASA

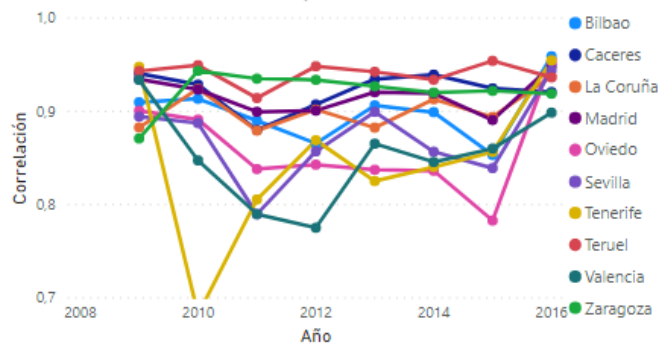


Promedio diferencia viento diario PVGIS y NASA

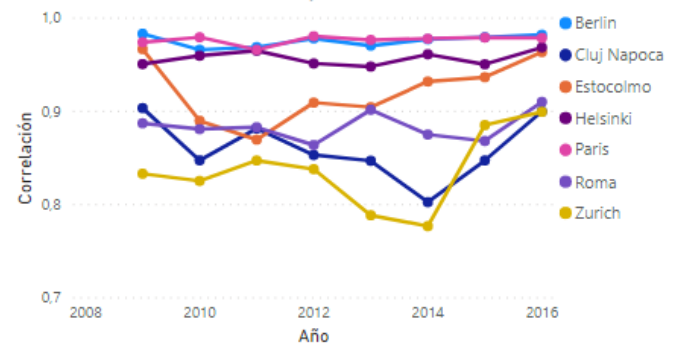


Gráfica 3.42. Promedio anual diferencia viento diario PVGIS y NASA

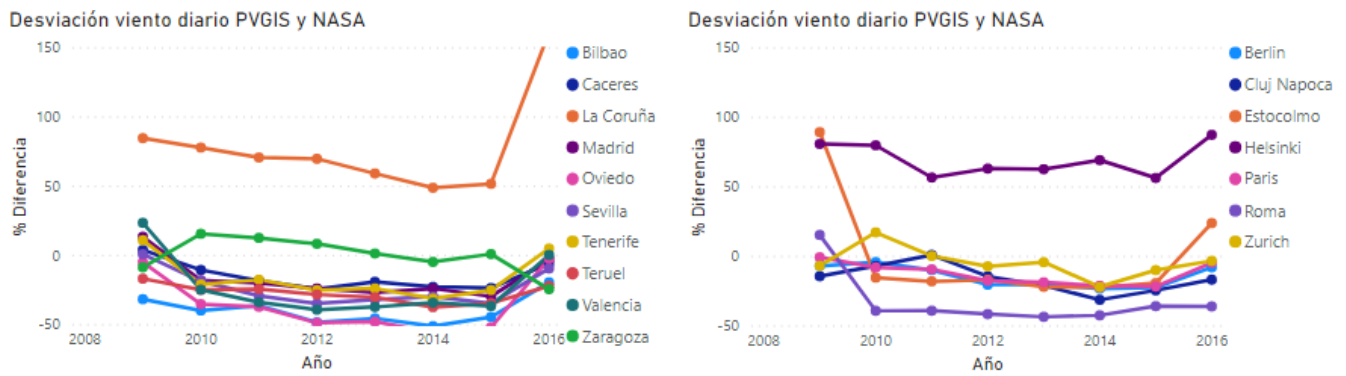
Correlación viento anual PVGIS y NASA



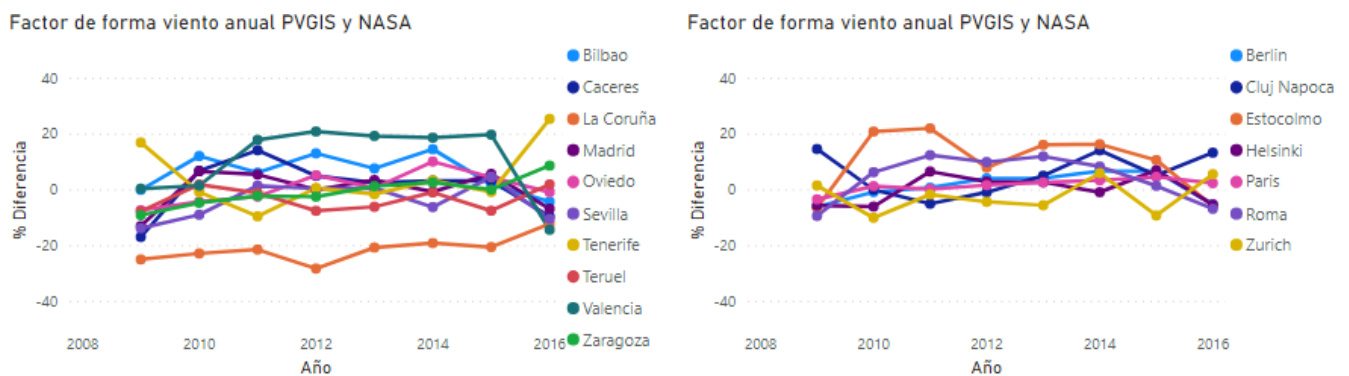
Correlación viento anual PVGIS y NASA



Gráfica 3.43. Correlación viento anual PVGIS y NASA



Gráfica 3.44. Diferencia desviación anual de viento diario PVGIS y NASA



Gráfica 3.45. Diferencia de factor de forma anual de viento PVGIS y NASA

En el ANEXO 1 se muestran un conjunto de gráficas adicionales a las mostradas en este apartado. En estas gráficas se representa el promedio de la diferencia diaria de irradiación, temperatura y viento por meses, entre las tres bases de datos.

### 3.8 CONCLUSIÓN COMPARACIÓN DE BASES DE DATOS

Como conclusión, tras realizar las comparaciones entre las bases de datos, se puede decir que sí que hay diferencias entre ellas, sobre todo cuando los métodos de obtención de datos son diferentes (reanálisis de datos contra datos satelitales).

Además, dentro de la misma comparativa de bases de datos existe una mayor diferencia entre los datos para algunas ciudades que para otras, esto ocurre sobre todo en las ciudades ubicadas más al norte, que cuentan normalmente con un recurso solar y eólico menor que las ciudades ubicadas más hacia el sur.

Por otro lado, las diferencias entre algunas bases de datos son bastante bajas y siguen una constancia a lo largo de los años analizados. Esto puede ser debido a que emplean como origen la misma fuente de datos.

El parámetro que tiene una mayor diferencia entre bases de datos es el viento. Para casi todas las ubicaciones se tiene que tanto el promedio, como la correlación y desviación estándar de la velocidad del viento tienen una diferencia elevada que además no es constante con el paso de los años, existen diferencias elevadas entre unos años y otros.

Esto puede significar que el parámetro más difícil de captar, procesar y validar por los algoritmos es la velocidad del viento.

Algo similar a lo comentado en el párrafo anterior ocurre con la temperatura en las ciudades con temperaturas medias bajas durante todo el año, lo que significa que las temperaturas bajas son más difíciles de captar, procesar y validar por los algoritmos de las bases de datos.

Como comparación final se muestra a continuación para cada variable analizada que base de datos da los valores más altos y más bajos. Se ordena de mayor a menor y, en el caso de las bases de datos que dan valores sin apenas diferencia se muestran con un signo igual.

<i>Irradiación</i>	PVGIS = NASA > NINJA
<i>Temperatura</i>	PVGIS = NINJA > NASA
<i>Viento</i>	NINJA > NASA > PVGIS

Tabla 3.1. Comparación magnitudes de las variables analizadas

Para comprobar si estas diferencias en las bases de datos suponen una diferencia en los costes y componentes cuando se diseña de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico-baterías se desarrolla el apartado siguiente.

## 4 OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-EÓLICO-BATERÍAS

---

En este apartado se realiza una optimización de un **sistema aislado híbrido fotovoltaico-eólico-baterías junto con generador auxiliar** en las distintas localizaciones utilizadas en los apartados anteriores para analizar las tres bases de datos disponibles. El objetivo de las optimizaciones de estos sistemas es poder realizar una comparativa de los costes y componentes del sistema que se obtienen al usar como fuente de datos cada una de las tres bases de datos.

Para realizar estas optimizaciones se utiliza el software iHOGA [3] (Improved Hybrid Optimization by Genetic Algorithms). Este software permite la simulación y optimización de sistemas aislados (o conectados a la red) híbridos de generación de energía eléctrica basados en energías renovables. Este software permite modelar sistemas de consumo y producción de energía eléctrica teniendo en cuenta una gran cantidad de variables, entre las que se encuentran las siguientes: La carga horaria y diaria que se espera que tenga la vivienda, permite introducir distintas fuente de datos de los recursos renovables y la elección de una gran cantidad de componentes y variables que integran el sistema (Módulos fotovoltaicos, turbinas eólicas, baterías, inversores, generadores AC, cargadores de batería, venta de energía a red, compra de energía ...).

## 4.1 DATOS INTRODUCIDOS

La demanda eléctrica introducida es la de una casa con un consumo bajo de 4,1 kWh/día de media. El programa utiliza algoritmos para crear ligeras variaciones de carga en cada día. La distribución de la carga media se muestra en la ilustración inferior.

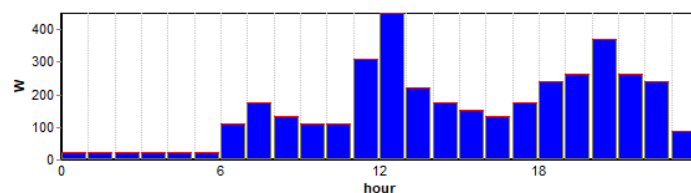


Ilustración 4.1. Distribución de carga día entre semana

Como fuente de datos para el recurso solar y eólico se emplean las bases de datos NASA, Renewable Ninja y PVGIS y se realiza una optimización de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico-baterías para cada una de las tres bases de datos en todas ubicaciones, para así poder realizar una comparativa de la diferencia de costes y componentes que se obtienen al utilizar las distintas bases de datos.

Para que el software tenga distintas alternativas de componentes a la hora de realizar las optimizaciones de los sistemas y pueda ajustar la producción de energía a la disponibilidad de recursos y se ajusten los costes lo máximo posible, se modelan varias alternativas para cada componente.

Los paneles fotovoltaicos se ubican orientados al sur y con una inclinación de 35°. Y se emplean las siguientes opciones, junto con un coste de mantenimiento de 40€/año:

- aSi12-Schott: ASI100 → 100 Wp, 110 €/módulo
- SiP12-TAB: PV-135 → 135 Wp, 135€/módulo

Las alternativas para las turbinas eólicas son las siguientes, ambas alternativas incluyen en el precio controlador y torre y tienen en cuenta para los cálculos la temperatura ambiente:

- Southwest: AIR X → 547W a 14m/s, 945€/turbina, altura 9m,  $C_{op} = 50$  €/año
- Southwest: Whisper100 → 925W a 14m/s, 2315€/turbina, altura 11m,  $C_{op} = 85$  €/año

Las alternativas para las baterías son las siguientes, todos modelos son de plomo-ácido y con coste de mantenimiento de 50€/año:

- OPZS-Hawker: TLS-3 →  $C_{nominal} = 180$  Ah, 127 €/batería
- OPZS-Hawker: TLS-5 →  $C_{nominal} = 270$  Ah, 178 €/batería
- OPZS-Hawker: TVS-5 →  $C_{nominal} = 390$  Ah, 165 €/batería

Para que el Sistema pueda seguir funcionando en los momentos puntuales en los que prácticamente no hay recursos renovables y la batería no tiene energía disponible se incorpora en el sistema un generador AC. El generador no está activo de las 12 de la noche hasta las 7 de la mañana para evitar ruidos. Puede ser unas de las alternativas siguientes:

- Generador Diesel: 1,9 kVA, 800€/generador, vida útil = 10000h, 110kg

- Generador Gasolina: 0,5 kVA, 250€/generador, vida útil = 10000h, 6,5kg

Controlador de carga de batería

- STECA TAROM 440:  $I_{\max} = 40A$ ,  $V_{DC} = 48V$ , 298€
- STECA P TAROM 4055:  $I_{\max} = 55A$ ,  $V_{DC} = 48V$ , 1500€
- STECA P TAROM 4140:  $I_{\max} = 149A$ ,  $V_{DC} = 48V$ , 2215€

Un componente fijo que lleva el sistema híbrido fotovoltaico-eólico-baterías es el siguiente:

- Inversor STECA XPC 1600-48: 1600 VA (max),  $V_{DC} = 48V$ , 1440€. Este inversor permite cargar la batería (incluye rectificador), pero no dispone de controlador.

El voltaje en corriente continua del sistema es de 48V y el voltaje en corriente alterna es 230V.

Para el cálculo del coste del sistema, iHOGA trata de minimizar el coste neto presente (NPC) a la hora de elegir los componentes del sistema y tiene en cuenta, además de todo lo comentado, la vida útil de los componentes, otros componentes auxiliares no nombrados y la instalación y financiación del sistema.

Hay que tener en cuenta que el programa puede elegir que en la optimización no esté presente algún componente ya que así el sistema tiene un precio menor, un ejemplo puede ser prescindir de turbina eólica si hay poco viento en la localización.

## 4.2 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS OBTENIDOS

En este apartado se muestran y analizan los resultados de la mejor solución obtenida con iHOGA para cada ciudad de las analizadas en el documento. Se muestra para cada ciudad los componentes que conforman el sistema, costes de implantación y emisiones.

En el ANEXO 2 se muestran los gráficos de los valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros (demanda de energía, generación fotovoltaica, generación eólica, uso del generador, energía que se podría exportar, carga y descarga de batería, energía almacenada en batería y demanda no satisfecha con el sistema) para cada base de datos y ciudad analizada.

Para las ciudades de Madrid y Sevilla mostradas en las dos tablas inferiores se obtiene que la base de datos PVGIS obtiene un sistema cuyo coste es bastante inferior al obtenido por NASA y Renewable Ninja, y estos dos costes son similares. Esto es debido a que para ambas ciudades PVGIS estima que habrá un mayor recurso solar que en NASA y Renewable Ninja por lo que se necesitan instalar menos módulos fotovoltaicos, además Renewable Ninja estima que hay un recurso eólico mayor que las otras dos bases de datos por lo que sale más rentable instalar una turbina eólica antes que más paneles fotovoltaicos.

<i>Tabla 4.1. Madrid</i>	<i>NASA</i>	<i>RENEWABLE NINJA</i>	<i>PVGIS</i>
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 6p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Diesel (1,9 kVA)	Diesel (1,9 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	180,28	228,26	190,99
<b>Coste sistema (€)</b>	19914,2	19298,7	16677,7
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,53	0,52	0,45

<i>Tabla 4.2. Sevilla</i>	<i>NASA</i>	<i>RENEWABLE NINJA</i>	<i>PVGIS</i>
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 5p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Diesel (1,9 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	135,36	187,96	144,76
<b>Coste sistema (€)</b>	18591,6	18761,5	16000,7
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,5	0,5	0,42

Para las ciudades de Bilbao y Cluj Napoca mostradas se obtiene que la base de datos PVGIS obtiene un sistema cuyo coste es bastante superior al obtenido por NASA y Renewable Ninja, siendo estos dos costes similares. La diferencia en este caso es que PVGIS estima que el recurso solar es menor y por ello se necesitan colocar más paneles fotovoltaicos para cubrir la demanda. Al igual que en las ciudades anteriores y para el resto de las ciudades analizadas, Renewable Ninja estima que hay un recurso eólico mayor que las otras dos bases de datos por lo que sale más rentable instalar una turbina eólica antes que más placas solares. Por otro lado, se ve que Renewable Ninja en Bilbao y NASA en Cluj Napoca utilizan la batería de tamaño pequeño para obtener un coste menor.

<i>Tabla 4.3. Bilbao</i>	<i>NASA</i>	<i>RENEWABLE NINJA</i>	<i>PVGIS</i>
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 6p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 11p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TLS-3 (180 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Diesel (1,9 kVA)	Diesel (1,9 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	159,74	278,98	281,67
<b>Coste sistema (€)</b>	19404,2	19571,3	25313,4
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,52	0,52	0,68



	NASA	RENEWABLE NINJA	PVGIS
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 10p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 10p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 13p
<b>Turbina eólica</b>	-	-	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TLS-3 (180 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)	Diesel (1,9 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	195,19	207,02	300,77
<b>Coste sistema (€)</b>	23058,4	23341	26407,5
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,62	0,62	0,71

Para Tenerife iHOGA consigue modelar unos sistemas que tienen prácticamente el mismo coste para las tres bases de datos. La única diferencia es la batería, para NASA se emplea la batería de 180 Ah y para Renewable Ninja y PVGIS la de 390 Ah, el resto de componentes son los mismos. Se ve que, pese a utilizar los mismos componentes hay diferencias en las emisiones de CO<sub>2</sub>, esto es debido a que la utilización del generador a lo largo del año es algo superior y al consumir más gasolina hay más emisiones.

	NASA	RENEWABLE NINJA	PVGIS
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p
<b>Turbina eólica</b>	-	-	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TLS-3 (180 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	92,79	136,51	144,76
<b>Coste sistema (€)</b>	14790,9	15462,7	15656
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,39	0,41	0,42

En las ciudades de Teruel, Valencia, Zaragoza y Oviedo iHOGA obtiene un sistema con un coste algo menor para Renewable Ninja mientras que los costes del sistema para NASA y PVGIS son parecidos. Se ve para estas ciudades que los componentes de los sistemas de las bases de datos NASA y PVGIS son parecidos, solo se tienen ligeras variaciones en el número de paneles o tipo de generador (diésel o gasolina) lo que hace que el coste final sea similar. Por otro lado, Renewable Ninja estima que el recurso eólico es importante por lo que el sistema sale más económico utilizando una turbina eólica que aumentando el número de paneles fotovoltaicos, la colocación de turbinas eólicas es beneficioso para estas ciudades ya que tienen un recurso eólico elevado durante todo el año y permite utilizar el generador económico y una menor cantidad de combustible, esto es por lo que los resultados más baratos se obtienen con esta base de datos.

<i>Tabla 4.6. Teruel</i>	<b>NASA</b>	<b>RENEWABLE NINJA</b>	<b>PVGIS</b>
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 6p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)	Diesel (1,9 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	148,72	156,74	145,74
<b>Coste sistema (€)</b>	19193	17760,1	19036,7
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,51	0,47	0,51

<i>Tabla 4.7. Valencia</i>	<b>NASA</b>	<b>RENEWABLE NINJA</b>	<b>PVGIS</b>
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 6p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 5p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TLS-3 (180 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	122,97	157,95	139,09
<b>Coste sistema (€)</b>	18839,8	17779,4	18648,5
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,5	0,47	0,5

<i>Tabla 4.8. Zaragoza</i>	<b>NASA</b>	<b>RENEWABLE NINJA</b>	<b>PVGIS</b>
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 7p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 5p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TLS-3 (180 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Diesel (1,9 kVA)	Diesel (1,9 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	153,87	186,92	225,49
<b>Coste sistema (€)</b>	21323,6	18322,1	20369,8
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,57	0,49	0,54

<i>Tabla 4.9. Oviedo</i>	<b>NASA</b>	<b>RENEWABLE NINJA</b>	<b>PVGIS</b>
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 9p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 9p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest Whisper (925 W): x 1p	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TLS-3 (180 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Diesel (1,9 kVA)	Diesel (1,9 kVA)	Diesel (1,9 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	204,54	244,08	241,9
<b>Coste sistema (€)</b>	23234,5	22638,8	23957
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,62	0,6	0,64

Para las ciudades de La Coruña, Cáceres, Roma, Estocolmo y Helsinki el sistema más caro obtenido es para la base de datos Renewable Ninja y los precios de los sistemas obtenidos para NASA y PVGIS son parecidos con la excepción de Estocolmo, donde el coste de PVGIS es 10000€ mayor que el de NASA.

El coste de Renewable Ninja es mayor por lo ya comentado sobre esta base de datos, y es que obtiene que el recurso eólico es mayor que el solar, porque interpreta que hay más recurso eólico que el que en realidad hay o porque hay menos recurso solar que el que realmente hay. En estas ciudades el colocar turbinas eólicas no logra cubrir la demanda de energía (ciudades con escaso viento) por lo que además de colocar las turbinas eólicas también hay que colocar un gran número de paneles fotovoltaicos que encarecen el precio del sistema, en otras ciudades con una turbina eólica y algún panel fotovoltaico bastaba para cubrir la demanda.

En la ciudad en la que más se nota la falta de recurso eólico es en Estocolmo, en la que en los días de invierno apenas tienen cinco horas de luz solar, lo que supone que la importancia del sistema radique en el recurso eólico. Como en este caso es algo escaso supone que sean necesarias 10 turbinas eólicas lo que encarece mucho el coste del sistema.

*Tabla 4.10. La Coruña*

	<i>NASA</i>	<i>RENEWABLE NINJA</i>	<i>PVGIS</i>
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 9p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 9p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 6p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Diesel (1,9 kVA)	Diesel (1,9 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	197,37	309,53	268,96
<b>Coste sistema (€)</b>	22829,2	26969,8	23495,8
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,61	0,72	0,63

*Tabla 4.11. Cáceres*

	<i>NASA</i>	<i>RENEWABLE NINJA</i>	<i>PVGIS</i>
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 6p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 6p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Diesel (1,9 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	134	259,65	134
<b>Coste sistema (€)</b>	18937,4	19718,8	18937,4
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,51	0,53	0,51

Tabla 4.12. Roma	NASA	RENEWABLE NINJA	PVGIS
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 6p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 4p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 6p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest Whisper (925 W): x 1p	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	158,13	194,83	146,59
<b>Coste sistema (€)</b>	19367,9	21651,4	19150,7
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,52	0,58	0,51

Tabla 4.13. Estocolmo	NASA	RENEWABLE NINJA	PVGIS
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 20p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 20p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 17p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest AIR X (547 W): x 10p	DC Southwest AIR X (547 W): x 4p
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 2p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Diesel (1,9 kVA)	Diesel (1,9 kVA)	Diesel (1,9 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	359,54	989,86	622,33
<b>Coste sistema (€)</b>	27922,2	62943,4	38240,7
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,75	1,68	1,02

Tabla 4.14. Helsinki	NASA	RENEWABLE NINJA	PVGIS
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 23p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 20p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 17p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest Whisper (925 W): x 1p	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TLS-3 (180 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TLS-3 (180 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Diesel (1,9 kVA)	Diesel (1,9 kVA)	Diesel (1,9 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	408,12	544,57	442,39
<b>Coste sistema (€)</b>	30267,5	34840,3	28565,1
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,81	0,93	0,76

Para las ciudades de Berlín, París y Zúrich se obtiene el sistema optimizado más barato para la base de datos NASA y para Renewable Ninja y PVGIS se obtienen precios muy similares. Las similitudes entre los sistemas de Renewable Ninja y PVGIS se debe a que utilizan los mismos componentes y en las mismas cantidades para cada ciudad. Mientras que en para la base de datos NASA el sistema obtenido utiliza un menor número de unidades de componentes al estimar unos mayores recursos renovables en estos casos.

Tabla 4.15. Berlín	NASA	RENEWABLE NINJA	PVGIS
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 17p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 17p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 17p
<b>Turbina eólica</b>	-	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p	DC Southwest AIR X (547 W): x 1p

<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TLS-3 (180 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Diesel (1,9 kVA)	Diesel (1,9 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	285,12	442,37	419,55
<b>Coste sistema (€)</b>	24555,4	29463,3	29158,1
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,66	0,79	0,78

Tabla 4.16. París

	<b>NASA</b>	<b>RENEWABLE NINJA</b>	<b>PVGIS</b>
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 17p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 17p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 17p
<b>Turbina eólica</b>	-	-	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TLS-3 (180 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Diesel (1,9 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	256,94	332,39	315,36
<b>Coste sistema (€)</b>	24020,4	25869	25281,7
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,64	0,69	0,68

Tabla 4.17. Zúrich

	<b>NASA</b>	<b>RENEWABLE NINJA</b>	<b>PVGIS</b>
<b>Paneles fotovoltaicos</b>	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 10p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 17p	aSi12-Schott ASI100 (100Wp): 4s x 17p
<b>Turbina eólica</b>	-	-	-
<b>Batería</b>	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p	OPZS-Hawker TVS-5 (390 Ah): 24s. x 1p
<b>Generador AC</b>	Gasolina (0,5 kVA)	Gasolina (0,5 kVA)	Diesel (1,9 kVA)
<b>Emisiones CO<sub>2</sub> (kg/año)</b>	195,9	309,21	316,09
<b>Coste sistema (€)</b>	23158	25116,2	25650,9
<b>Coste energía (€/kWh)</b>	0,62	0,67	0,69

### 4.3 COMPARACIÓN DE COSTES Y CONCLUSIÓN

En la Tabla 4.18 se muestra un resumen de los costes de los sistemas optimizados de todas las ciudades y la diferencia de coste porcentual entre las bases de datos.

	<b>NASA (€)</b>	<b>RENEWABLE NINJA (€)</b>	<b>PVGIS (€)</b>	<b>NASA vs RENEWABLE NINJA (% diferencia)</b>	<b>PVGIS vs RENEWABLE NINJA (% diferencia)</b>	<b>PVGIS vs NASA (% diferencia)</b>
<b>Bilbao</b>	19404,2	19571,3	25313,4	0,9	22,7	23,3
<b>Cáceres</b>	18937,4	19717,8	18937,4	4,1	4,1	0,0
<b>La Coruña</b>	22829,2	26969,8	23495,8	18,1	14,8	2,8
<b>Madrid</b>	19914,2	19298,7	16677,7	3,1	15,7	19,4
<b>Oviedo</b>	23234,5	22638,8	23957	2,6	5,5	3,0
<b>Sevilla</b>	18591,6	18761,5	16000,7	0,9	17,3	16,2
<b>Tenerife</b>	14790,9	15462,7	15656	4,5	1,2	5,5
<b>Teruel</b>	19193	17760,1	19036,7	7,5	6,7	0,8

<b>Valencia</b>	18839,8	17779,4	18648,5	5,6	4,7	1,0
<b>Zaragoza</b>	21323,6	18322,1	20369,8	14,1	10,1	4,7
<b>Berlín</b>	24555,4	29463,3	29158,1	20,0	1,0	15,8
<b>Cluj Napoca</b>	23058,4	23341	26407,5	1,2	11,6	12,7
<b>Estocolmo</b>	27922,2	62943,4	38240,7	125,4	64,6	27,0
<b>Helsinki</b>	30267,5	34840,3	28565,1	15,1	22,0	6,0
<b>París</b>	24020,4	25869	25281,7	7,7	2,3	5,0
<b>Roma</b>	19367,9	21651,4	19150,7	11,8	13,1	1,1
<b>Zúrich</b>	23158	25116,2	25650,9	8,5	2,1	9,7
			<b>Promedio España</b>	6,1	10,3	7,7
			<b>Promedio resto</b>	27,1	16,7	11,0
			<b>Promedio Europa</b>	14,8	12,9	9,1

Tabla 4.18. Comparativa costes de todas ciudades para las tres bases de datos

Como se puede observar, la diferencia entre precios obtenida por las bases de datos es similar, y depende de la ubicación en la que se encuentre la ciudad analizada y los recursos renovables de los que dispone.

Los sistemas obtenidos en España, que es un país con unos recursos renovables muy elevados, tienen una diferencia promedio de precio entre bases de datos baja, siendo la base de datos que más diferencias de precio tiene Renewable Ninja. Por el contrario, la diferencia promedio de precio de las bases de datos del resto de ciudades europeas analizadas es bastante superior, llegando a ser de un 27%, mientras que la mayor diferencia promedio entre bases de datos en España es del 10,3%.

Como conclusión de este apartado se tiene que el utilizar distintas bases de datos para modelizar un sistema de energías renovables aislado en una ubicación concreta influye en el coste del sistema. Esta variación de coste puede ser pequeña o grande, dependiendo de la ubicación en la que se quiera modelar el sistema. En ubicaciones con recursos renovables elevados (gran disponibilidad tanto de recurso eólico como solar) la diferencia de coste y componentes entre bases de datos es baja, y, en ubicaciones con disponibilidades de recursos renovables bajas o medias la diferencia de costes y componentes entre bases de datos puede llegar a ser significativa. Por lo que, en estas ubicaciones con pocos recursos eólicos en los que la precisión de los datos de partida puede ser menor, será conveniente comparar entre bases de datos y elegir la que más se acerque a la realidad para poder modelizar así un sistema que se parezca lo máximo posible al sistema operando en condiciones reales.

## 5 CONCLUSIONES

---

Tras todo el análisis realizado entre las tres bases de datos se extraen las siguientes conclusiones que serán de ayuda a la hora de saber qué diferencias esperar cuando se está trabajando con una base de datos u otra y saber las consecuencias reales que puede suponer en el modelado de un sistema renovable.

La fuente de datos de la que la base de datos obtiene la información, el algoritmo empleado para el procesado y la validación de los datos hace que existan diferencias entre los datos procesados que cada base de datos permite descargar desde su página web. Esto se ha podido comprobar en el documento, ya que varias bases de datos utilizan la misma fuente de datos, sin embargo, los datos procesados que ofrecen son distintos, aunque la diferencia es menor que al usarse otra fuente de datos diferente.

La validación de los datos en el proceso de creación de algoritmos de cada base de datos es de gran importancia ya que se comprueba que los datos procesados mediante el algoritmo coincidan con los de las estaciones meteorológicas de tierra y en el caso que no coincida se incluyen las correcciones pertinentes en el algoritmo.

De las dos técnicas existentes que utilizan las fuentes de datos para crear los datos, reanálisis o imágenes satelitales, se puede decir que se espera una mayor precisión de las bases de datos que usan imágenes satelitales, contra una menor precisión de las que usan métodos de reanálisis.

Por un lado, las técnicas de imágenes satelitales cuentan con una mayor resolución que las de reanálisis al obtener los parámetros de fotografías de gran resolución. Por otro lado, las técnicas de reanálisis cuentan con mejor continuidad de los datos por el propio proceso de obtención de los mismos.

Por lo que si para la zona en la que se quieren obtener datos hay disponible más de una base de datos es mejor utilizar una base de datos que use para obtener su información imágenes satelitales.

Al realizar las comparaciones entre las bases de datos, se ve que hay diferencias entre ellas, sobre todo entre las bases de datos que utilizan reanálisis de datos contra datos satelitales. Además, existe una mayor diferencia entre las bases de datos para algunas ciudades que para otras, esto ocurre sobre todo en las ciudades ubicadas más al norte, que, en los casos analizados, cuentan en general con recursos solar y eólico menores que las ciudades ubicadas más al sur. Esto puede ser debido a que al tener peores y más cambiantes condiciones climáticas hace que sea más complejo estimar las variables climáticas correctamente.

El parámetro de velocidad de viento es en el que más diferencias hay entre bases de datos, tanto en promedio de velocidad como en correlación y desviación estándar. Esto significa que es el parámetro más complejo de estimar y el que más diferencias supone en la optimización del sistema híbrido renovable.

Por otro lado, las diferencias entre algunas variables de las bases de datos son bastante bajas, siguen una constancia a lo largo de los años analizados y tienen una muy buena correlación con una desviación estándar baja. Esto es debido a que emplean como origen la misma fuente de datos, lo que significa que la diferencia entre los datos viene dada por el algoritmo y proceso de validación utilizado.

La diferencia entre la magnitud de los valores de las tres variables para las tres bases de datos se muestra en la Tabla 3.1, en la que se ve qué posibilidades hay de sobreestimar o subestimar los recursos renovables al utilizar una base de datos u otra para la variable seleccionada.

La diferencia entre precios obtenida tras la optimización del sistema híbrido fotovoltaico-eólico-baterías para cada ubicación y base de datos es baja en la mayoría de los casos, aunque hay casos en los que la diferencia de precios es bastante elevada. Esto depende de la ubicación en la que se encuentre la ciudad analizada y los recursos renovables de los que dispone.

Que los precios sean parecidos para las bases de datos en la mayoría de las ubicaciones implica que los componentes que integran el sistema son parecidos, existiendo leves diferencias como la variación de +-1 panel fotovoltaico o la capacidad de la batería. Estas diferencias suponen poca variación de coste, que amortigua la diferencia existente entre los datos de recursos renovables que proporcionan las bases de datos.

Los sistemas obtenidos en España, que es un país con unos recursos renovables muy elevados, tienen una diferencia de precio entre bases de datos baja, siendo la base de datos que más diferencias de precio tiene respecto a las demás Renewable Ninja. Esto es debido a que esta base de datos estima que el recursos eólico disponible es alto y en casi todas ubicaciones se coloca una turbina eólica, mientras que las otras bases de datos colocan paneles fotovoltaicos (la turbina eólica es más cara que los paneles fotovoltaicos).

Por otro lado, la diferencia promedio de precio de las bases de datos del resto de ciudades europeas analizadas es bastante superior, llegando a ser de un 27%, una diferencia bastante más elevada que en las ubicaciones de España, que es del 10,3%.

La elección de una base de datos para el modelado de un sistema híbrido fotovoltaico-eólico-baterías en una ubicación con alta disponibilidad de recursos renovables tiene una menor importancia ya que la diferencia de costes es baja y los componentes son similares, lo que significa que el funcionamiento real del sistema diferirá poco del funcionamiento simulado por cualquier base de datos. Sin embargo, en ubicaciones con baja disponibilidad de recursos renovables la elección de la base de datos es muy importante ya que a parte de la diferencia de costes puede ocurrir que el sistema real no tenga el funcionamiento deseado debido a que los datos de partida pueden no ser del todo precisos. Por ello, en estas ubicaciones es conveniente utilizar la base de datos Renewable Ninja para viento y la base de datos PVGIS para la irradiación y temperatura, ya que para latitudes altas estas bases de datos realizan corrección de los datos mediante estaciones de superficie para corregir los valores que se obtienen de las respectivas fuentes de datos.



## 6 REFERENCIAS

---

- [1] Gobierno de España, [En línea]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/>. [Último acceso: Mayo 2021].
- [2] Solar-energia, [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar/irradiacion-solar>. [Último acceso: Junio 2021].
- [3] R. Dufo, «<https://ihoga.unizar.es/>,» [En línea]. [Último acceso: Abril 2021].
- [4] BBDD NASA, «<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>,» [En línea]. [Último acceso: 02 2021].
- [5] NASA, «<https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [6] SCHOOL, «<https://scool.larc.nasa.gov/Spanish/sats-sp.html>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [7] AQUA, «<https://aqua.nasa.gov/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [8] TERRA, «<https://terra.nasa.gov/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [9] AURA, «<https://aura.gsfc.nasa.gov/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [10] GMAO, «[https://gmao.gsfc.nasa.gov/gmao\\_mission/](https://gmao.gsfc.nasa.gov/gmao_mission/),» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [11] GMAO, «[https://gmao.gsfc.nasa.gov/global\\_mesoscale/](https://gmao.gsfc.nasa.gov/global_mesoscale/),» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [12] GMAO, «[https://gmao.gsfc.nasa.gov/GMAO\\_products/](https://gmao.gsfc.nasa.gov/GMAO_products/),» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [13] NASA, «<https://power.larc.nasa.gov/docs/methodology/data/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [14] NASA, «<https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [15] GMAO, «<https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [16] GMAO, «[https://gmao.gsfc.nasa.gov/news/geos\\_system\\_news/2016/FP-IT\\_NRT\\_G5.12.4.php](https://gmao.gsfc.nasa.gov/news/geos_system_news/2016/FP-IT_NRT_G5.12.4.php),» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].

- [17] SRB, «<https://asdc.larc.nasa.gov/project/SRB>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [18] CERES, «<https://ceres.larc.nasa.gov/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [19] CERES, «<https://ceres.larc.nasa.gov/instruments/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [20] CERES, «<https://ceres.larc.nasa.gov/science/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [21] FLASHLux, «<https://ceres.larc.nasa.gov/data/#fast-longwave-and-shortwave-flux-flashflux>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [22] BBDD Renewable Ninja, «<https://www.renewables.ninja/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [23] Renewable Ninja, «<https://www.renewables.ninja/about>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [24] S. Pfenninger, «<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216311744?via%3Dihub>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [25] I. Staffell, «<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216311811?via%3Dihub>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [26] 2015 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference, «[https://www.researchgate.net/publication/273640562\\_MVIRISEVIRI\\_TOA\\_Radiation\\_Datasets\\_within\\_the\\_Climate\\_Monitoring\\_SAF](https://www.researchgate.net/publication/273640562_MVIRISEVIRI_TOA_Radiation_Datasets_within_the_Climate_Monitoring_SAF),» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [27] CMSAF, «[https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewDoiDetails?acronym=SARAH\\_V001](https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewDoiDetails?acronym=SARAH_V001),» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [28] BBDD PVGIS, «[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/es/tools.html#HR](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/tools.html#HR),» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [29] PVGIS, «<https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/about/who>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [30] PVGIS, «<https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/usermanual>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].

- [31] PVGIS, «<https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/releases/pvgis51>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [32] PVGIS, «<https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [33] NREL, «<https://nsrdb.nrel.gov/data-sets/archives.html>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [34] PVGIS, «<https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/reanalysis>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [35] BSRN, «<https://bsrn.awi.de/>,» [En línea]. [Último acceso: 03 2021].
- [36] Microsoft, «Microsoft Excel,» Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/es-es/microsoft-365/excel>.
- [37] «Weibull k value,» [En línea]. Available: [https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/weibull\\_k\\_value.html](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/weibull_k_value.html). [Último acceso: Junio 2021].
- [38] Microsoft, «Microsoft Power BI,» Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://powerbi.microsoft.com/es-es/>.

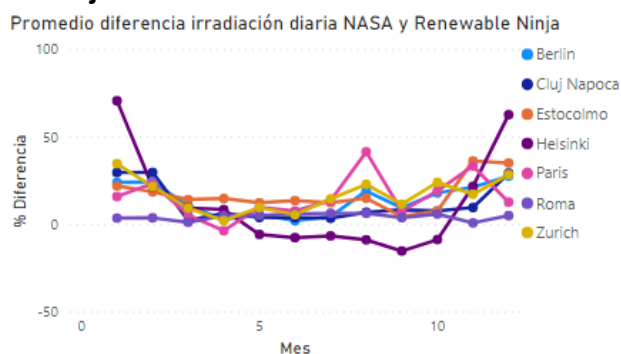
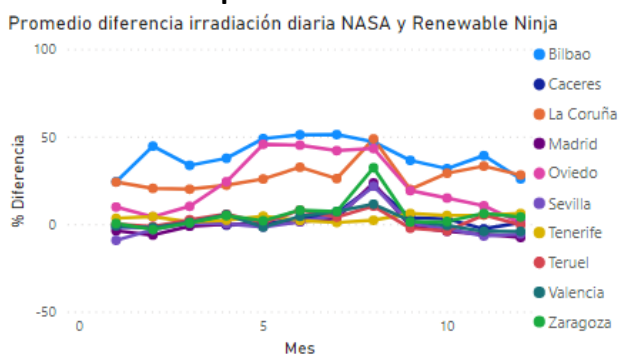
## 7 ANEXOS

### ANEXO 1. PROMEDIO DIFERENCIA IRRADIACIÓN DIARIA BBDD POR MESES

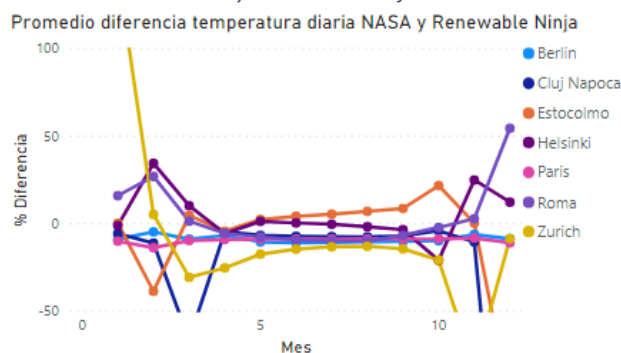
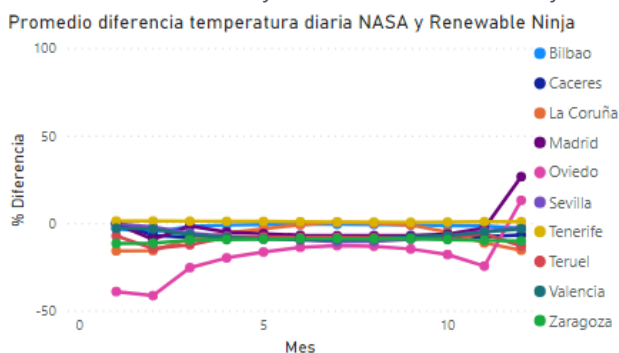
En estas gráficas se representa el promedio de la diferencia diaria de irradiación, temperatura y viento por meses, entre las tres bases de datos. El promedio de cada mes se realiza para todos los días de ese mes de todos los años que se han analizado en apartados anteriores. Por ejemplo, para el mes de junio se hace un promedio de diferencia diaria de 210 días que corresponden a 30 días/mes x 7 años (2009 – 2015).

Se aprecia que en la una gran cantidad de las comparaciones la diferencia entre factores de las bases de datos es menor en los meses centrales del año, y en los meses de invierno en las ciudades situadas más al norte llegan a producirse diferencias muy elevadas en promedio. Esto sigue la línea de las otras comparaciones realizadas.

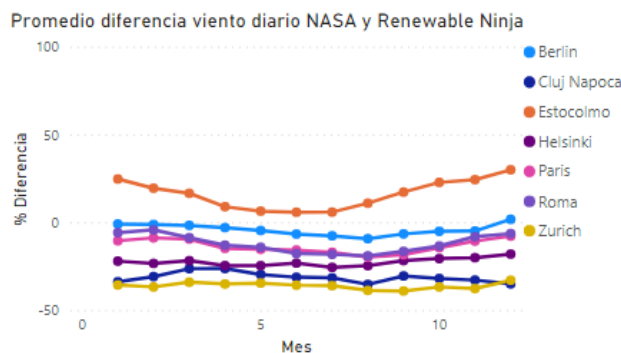
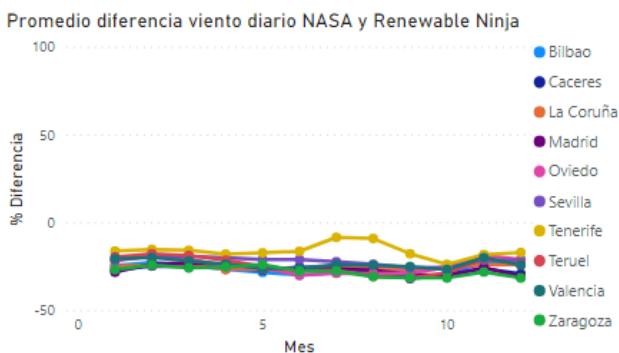
#### • Comparación NASA contra Renewable Ninja



Gráfica 7.1. Promedio mensual diferencia irradiación diaria NASA y Renewable Ninja



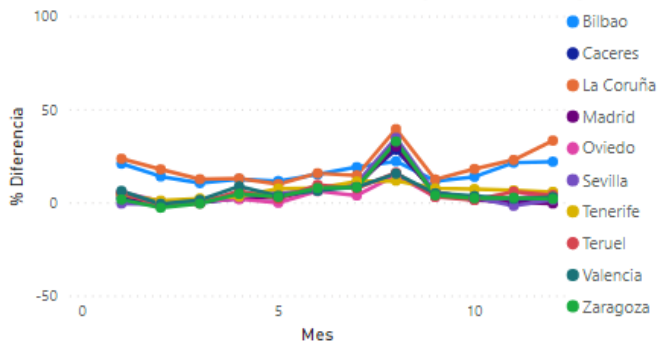
Gráfica 7.2. Promedio mensual diferencia temperatura diaria NASA y Renewable Ninja



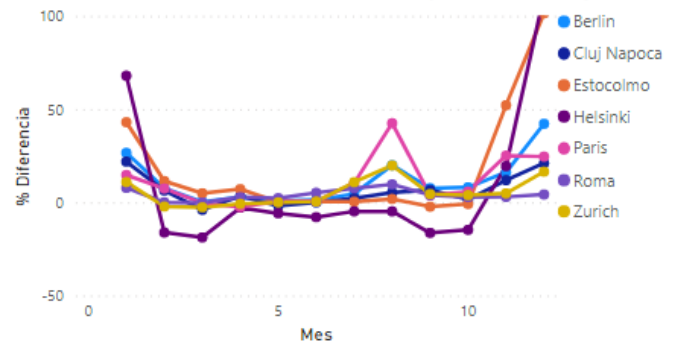
Gráfica 7.3. Promedio mensual diferencia viento diario NASA y Renewable Ninja

- **Comparación PVGIS contra Renewable Ninja**

Promedio diferencia irradiación diaria PVGIS y Renewable Ninja

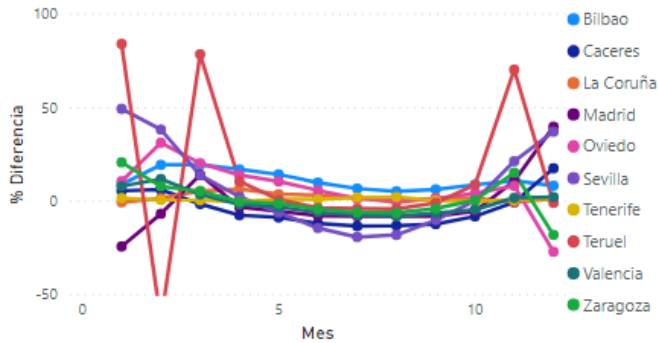


Promedio diferencia irradiación diaria PVGIS y Renewable Ninja

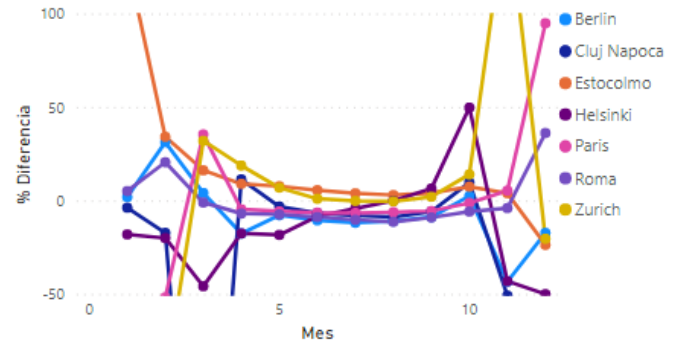


Gráfica 7.4. Promedio mensual diferencia irradiación diaria PVGIS y Renewable Ninja

Promedio diferencia temperatura diaria PVGIS y Renewable Ninja

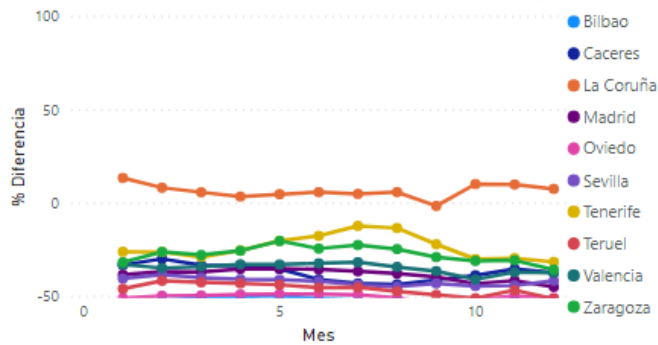


Promedio diferencia temperatura diaria PVGIS y Renewable Ninja

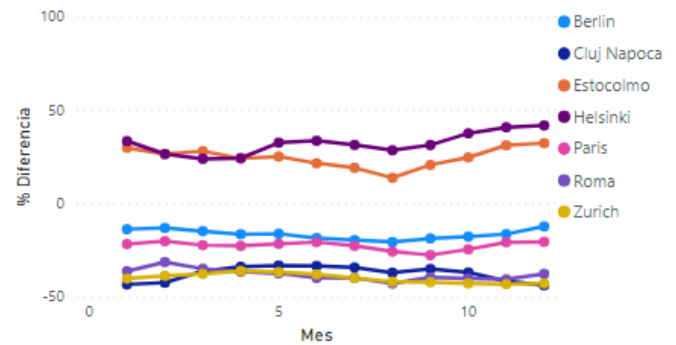


Gráfica 7.5. Promedio mensual diferencia temperatura diaria PVGIS y Renewable Ninja

Promedio diferencia viento diario PVGIS y Renewable Ninja



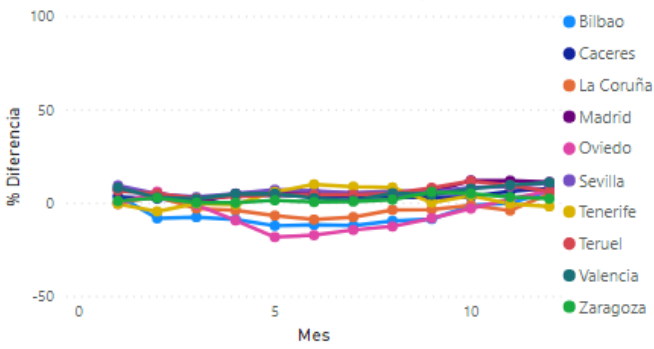
Promedio diferencia viento diario PVGIS y Renewable Ninja



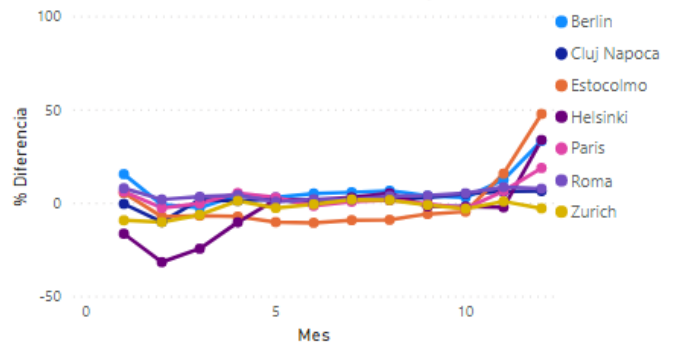
Gráfica 7.6. Promedio mensual diferencia viento diario PVGIS y Renewable Ninja

- **Comparación PVGIS contra NASA**

Promedio diferencia irradiación diaria PVGIS y NASA

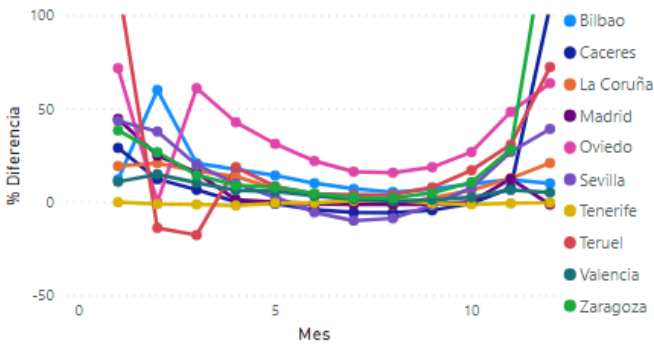


Promedio diferencia irradiación diaria PVGIS y NASA

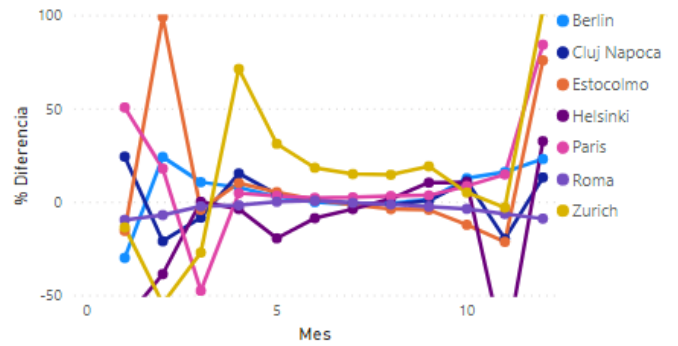


Gráfica 7.7. Promedio mensual diferencia irradiación diaria PVGIS y NASA

Promedio diferencia temperatura diaria PVGIS y NASA

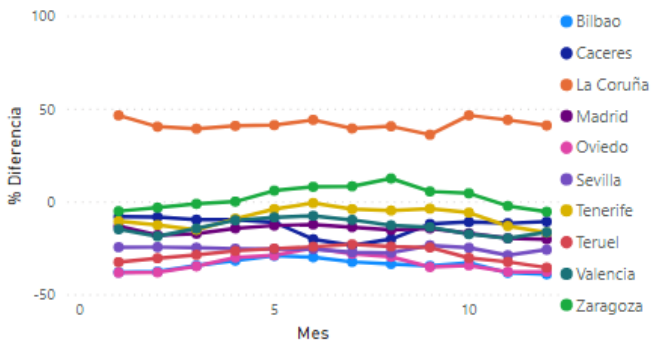


Promedio diferencia temperatura diaria PVGIS y NASA

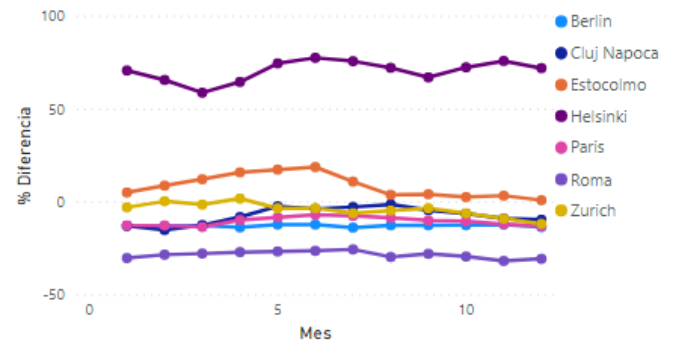


Gráfica 7.8. Promedio mensual diferencia temperatura diaria PVGIS y NASA

Promedio diferencia viento diario PVGIS y NASA



Promedio diferencia viento diario PVGIS y NASA



Gráfica 7.9. Promedio mensual diferencia viento diario PVGIS y NASA

## ANEXO 2. VALORES HORARIOS SIMULACIONES IHOGA

### BILBAO

- **NASA**

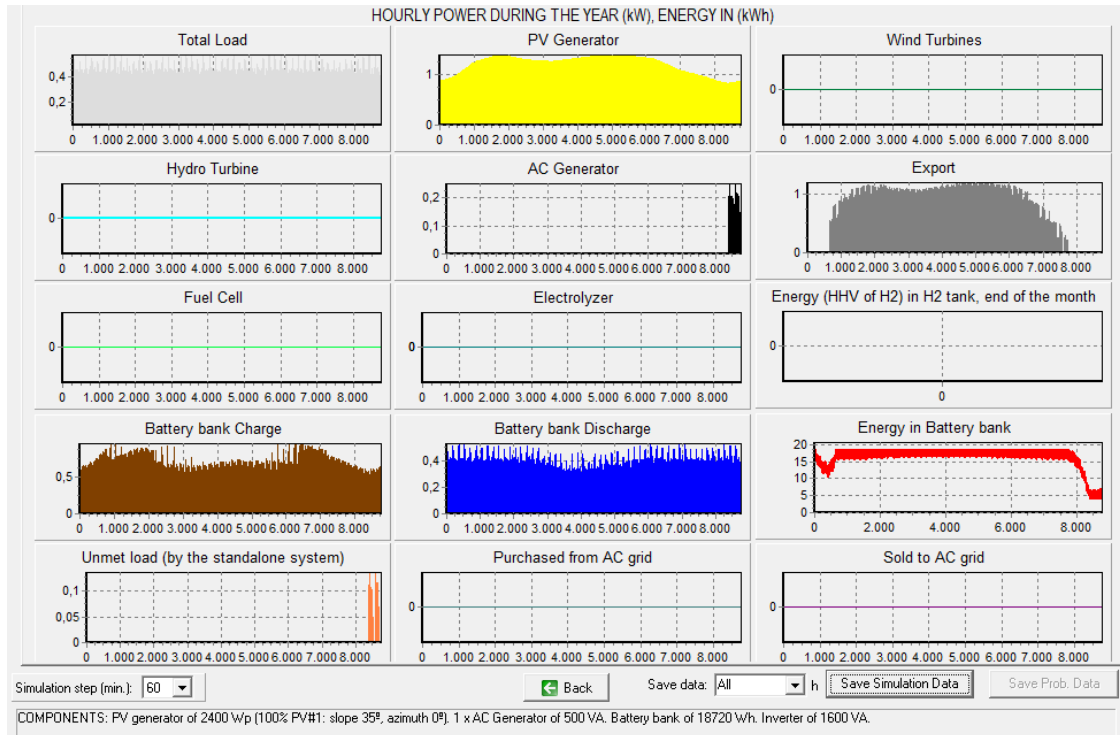


Ilustración 7.1. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Bilbao

- **Renewable Ninja**

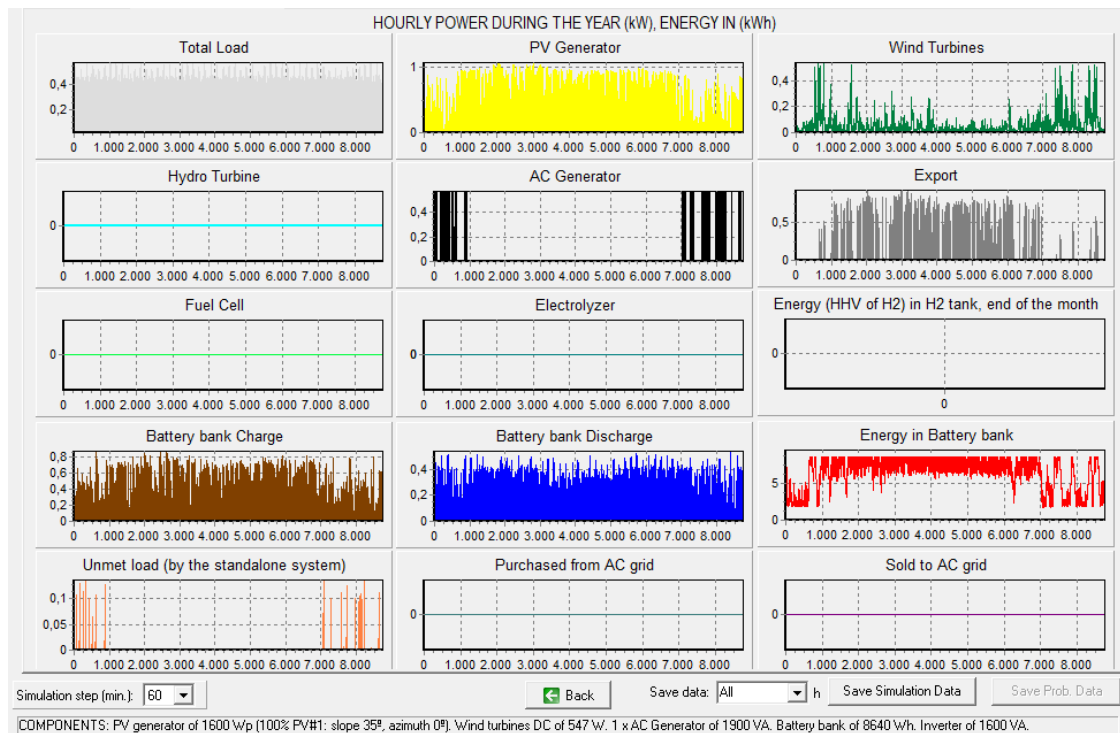


Ilustración 7.2. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Bilbao

- **PVGIS**

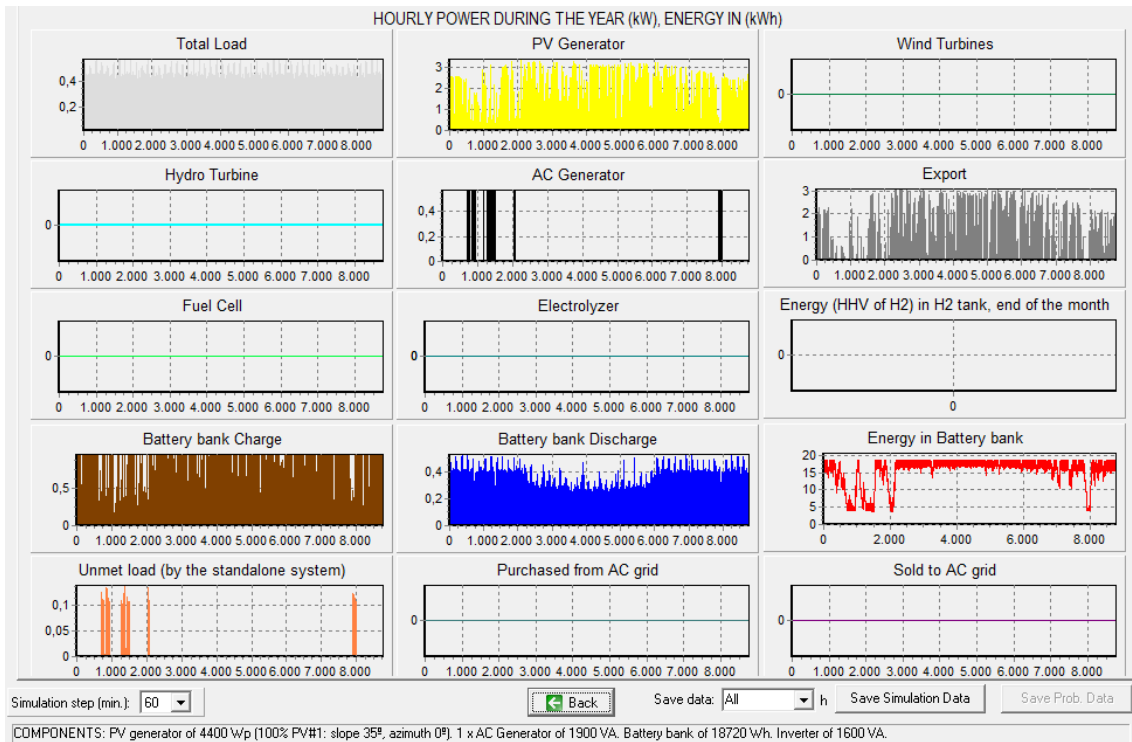


Ilustración 7.3. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Bilbao

## CÁCERES

- **NASA**

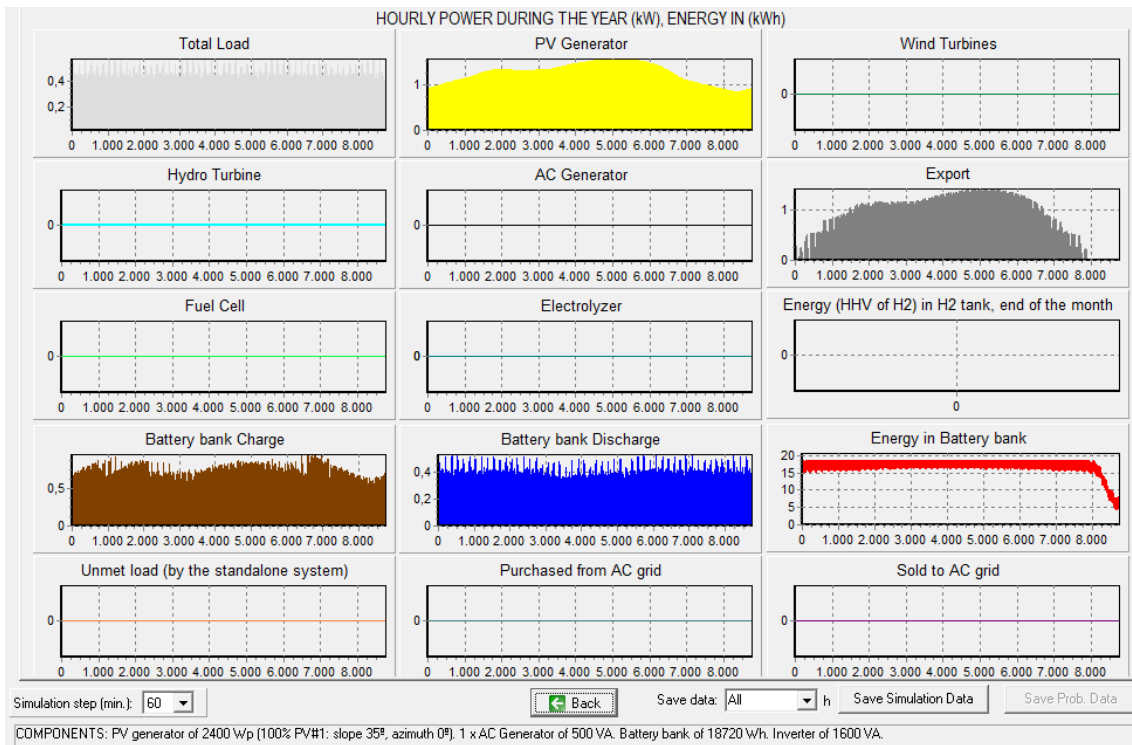


Ilustración 7.4. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Cáceres



- **Renewable Ninja**

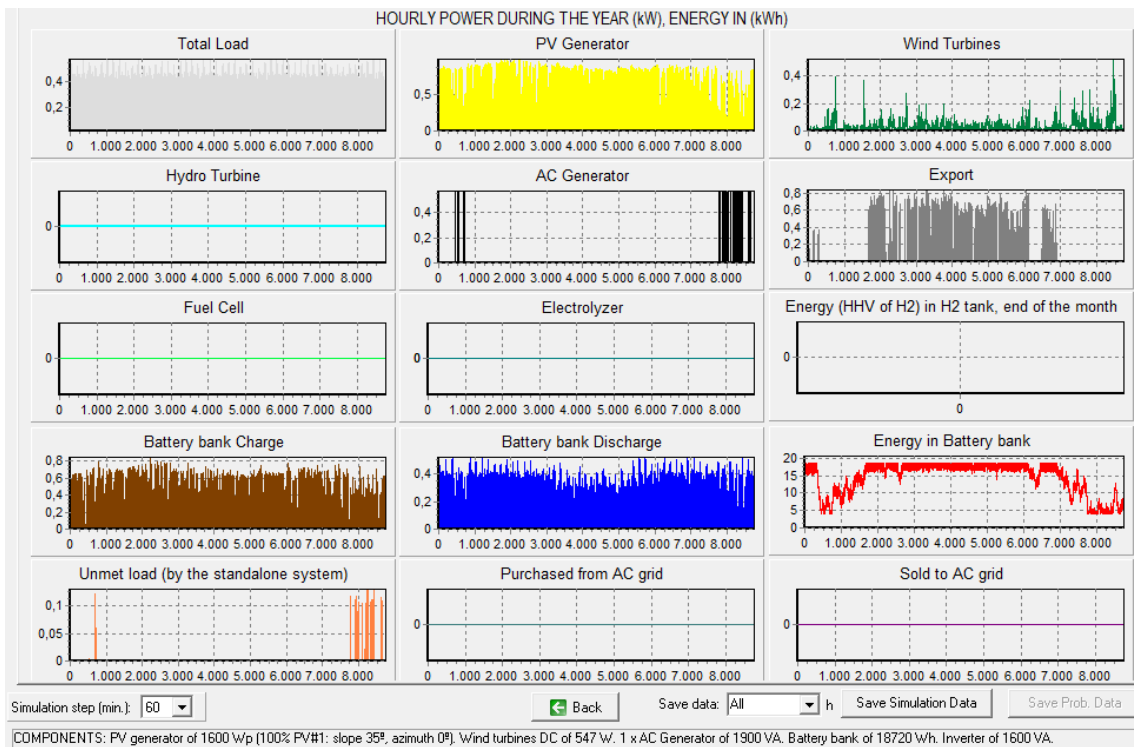


Ilustración 7.5. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Cáceres

- **PVGIS**

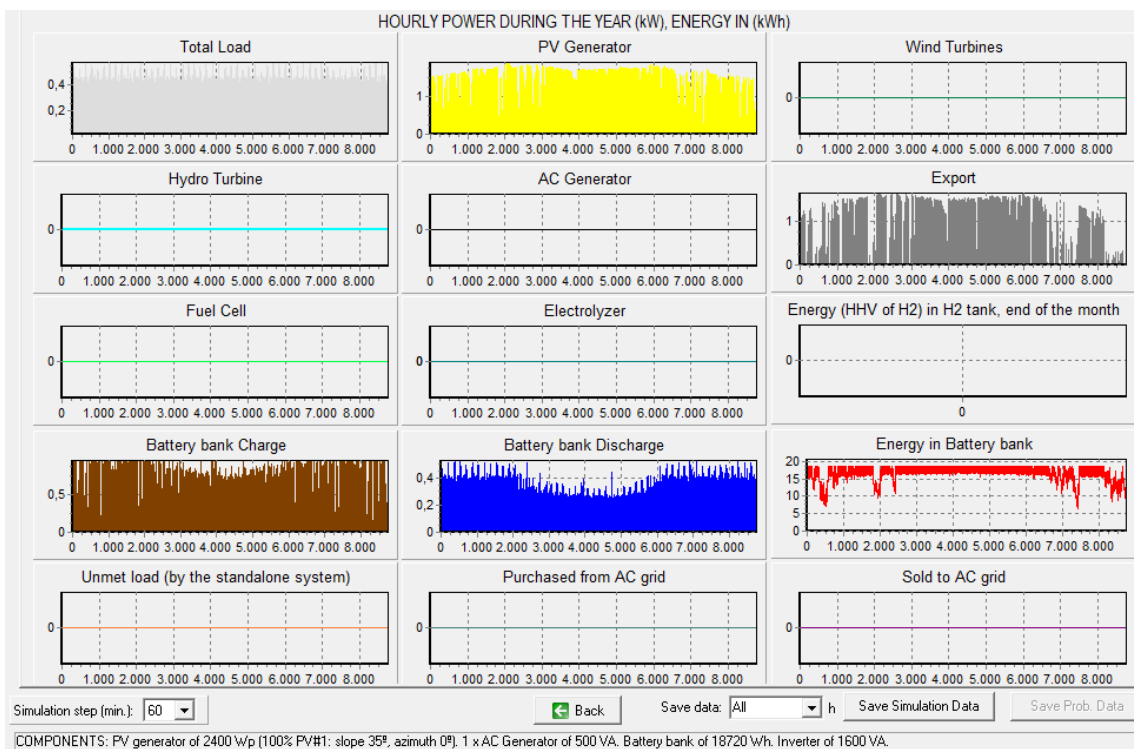


Ilustración 7.6. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Cáceres

## LA CORUÑA

- NASA

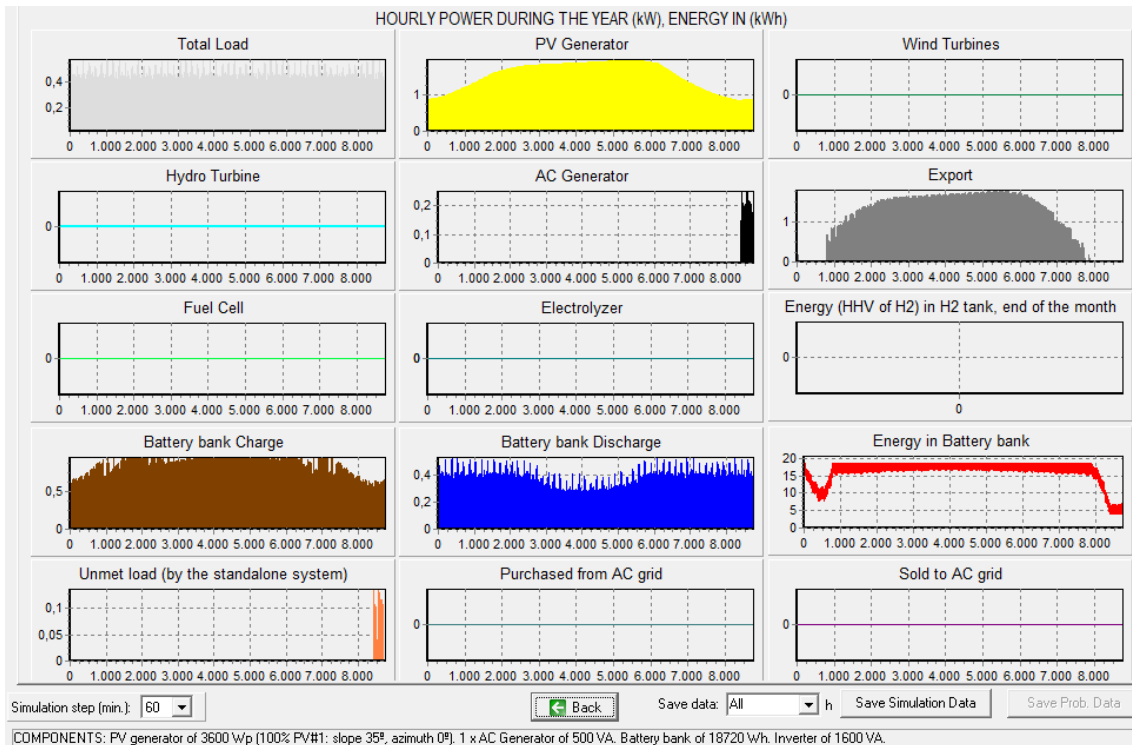


Ilustración 7.7. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para La Coruña

- Renewable Ninja

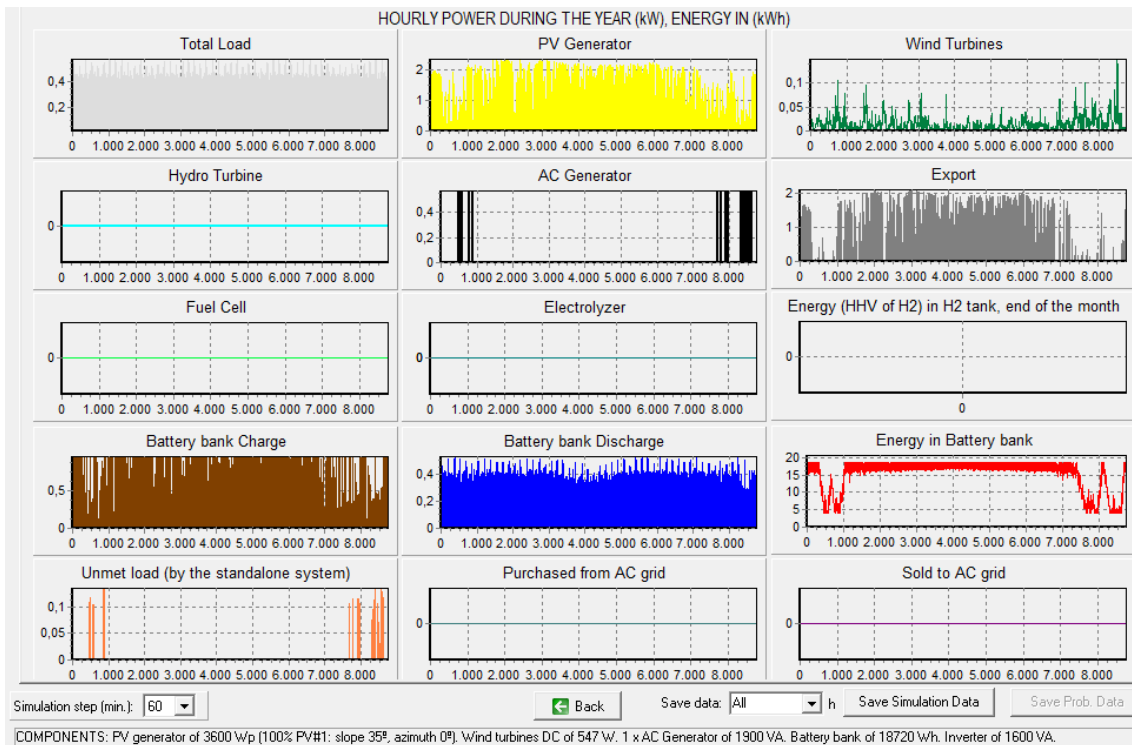


Ilustración 7.8. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para La Coruña

- **PVGIS**

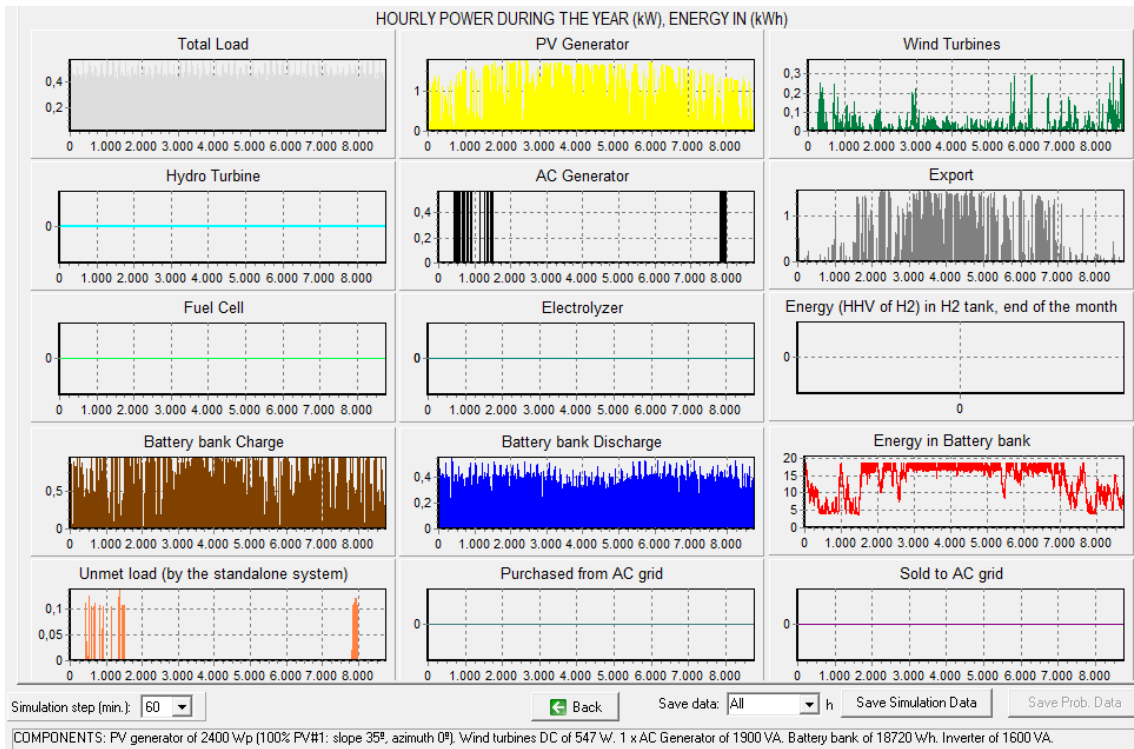


Ilustración 7.9. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para La Coruña

## MADRID

- **NASA**

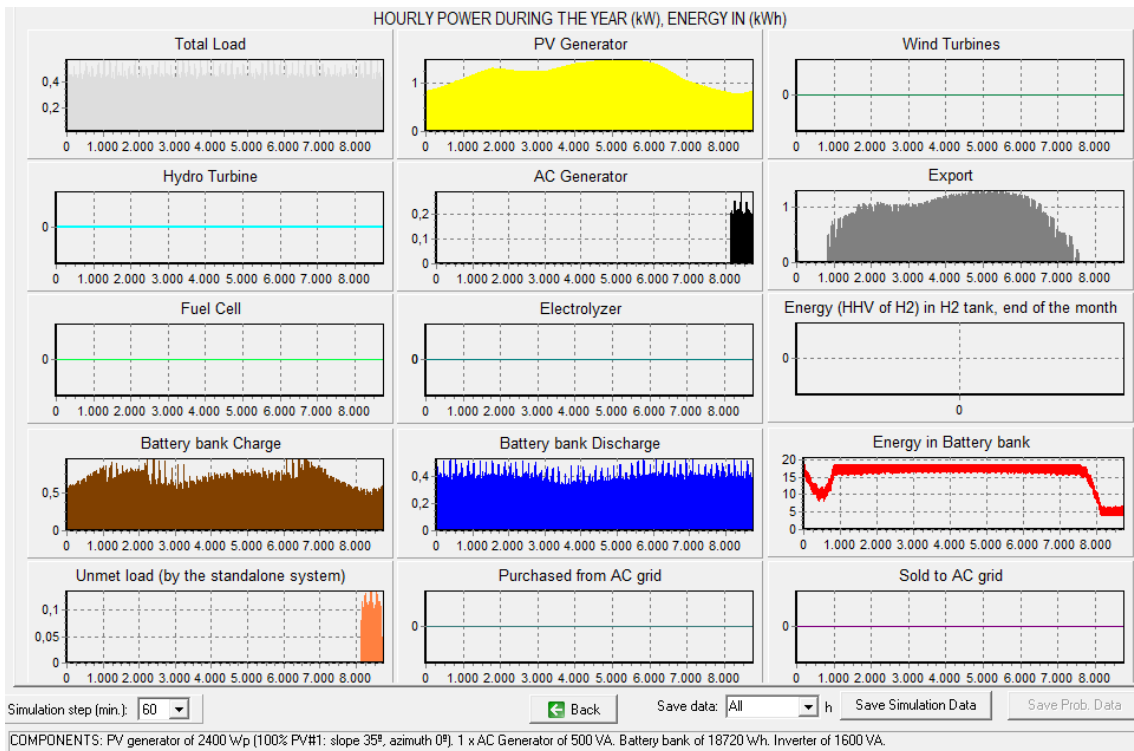
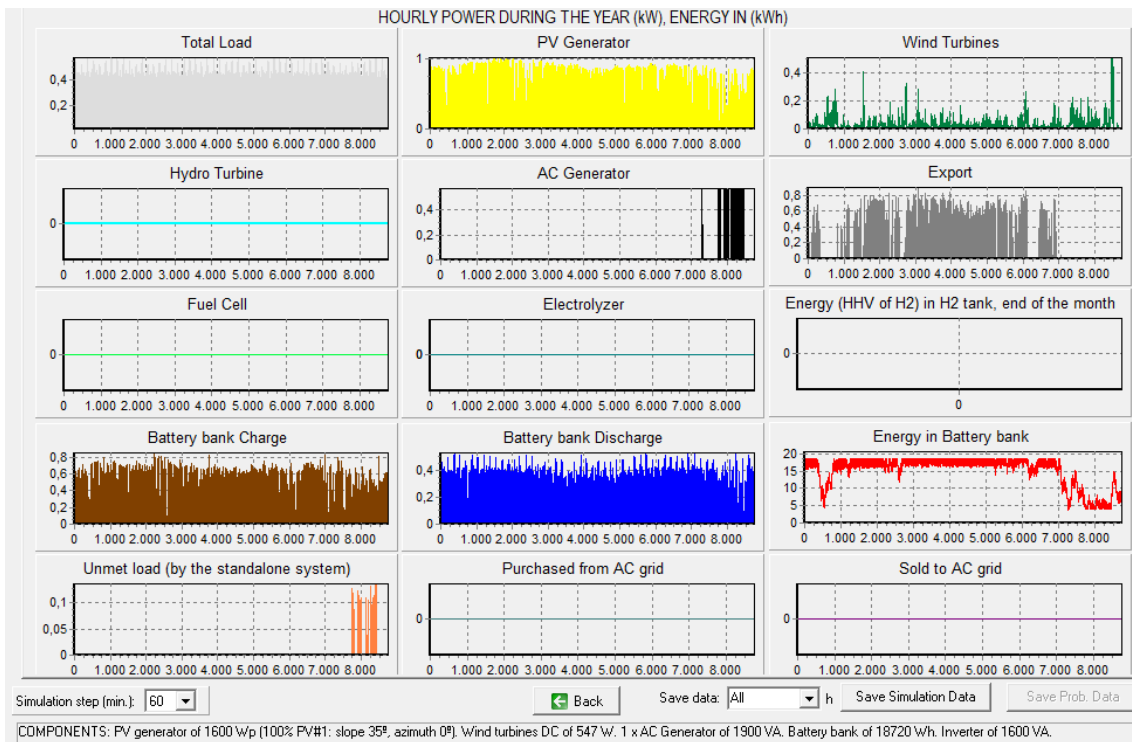


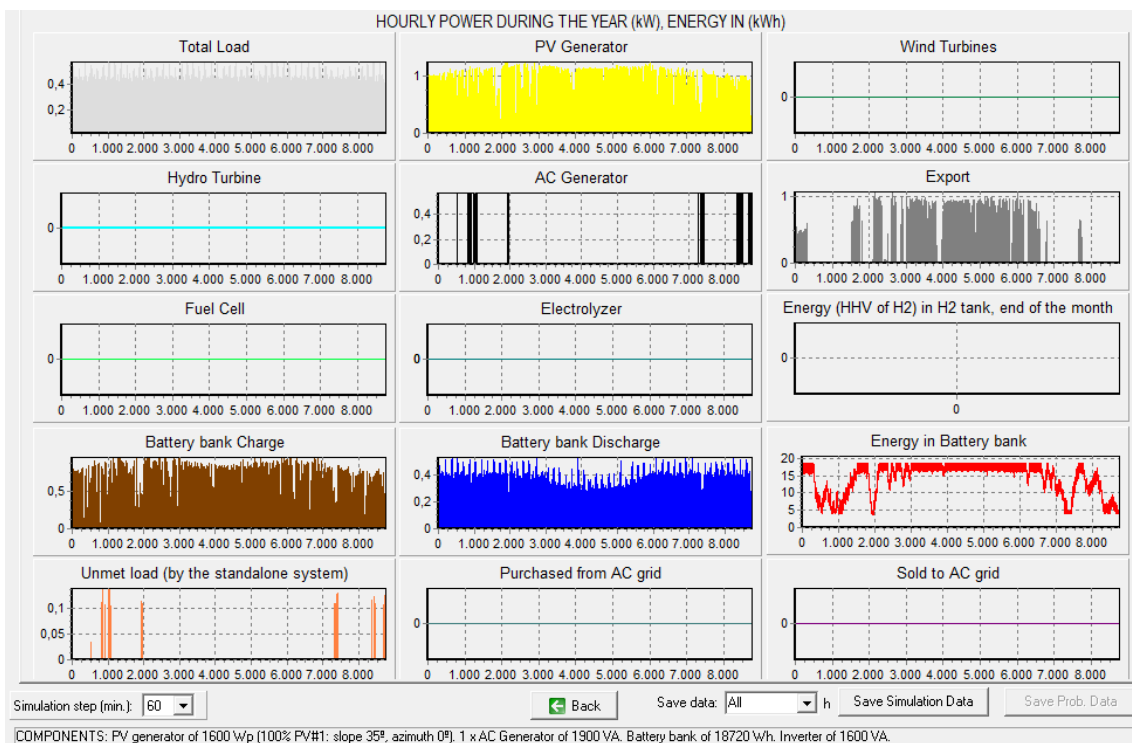
Ilustración 7.10. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Madrid

- **Renewable Ninja**



*Ilustración 7.11. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Madrid*

- **PVGIS**



*Ilustración 7.12. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Madrid*

## OVIEDO

- **NASA**

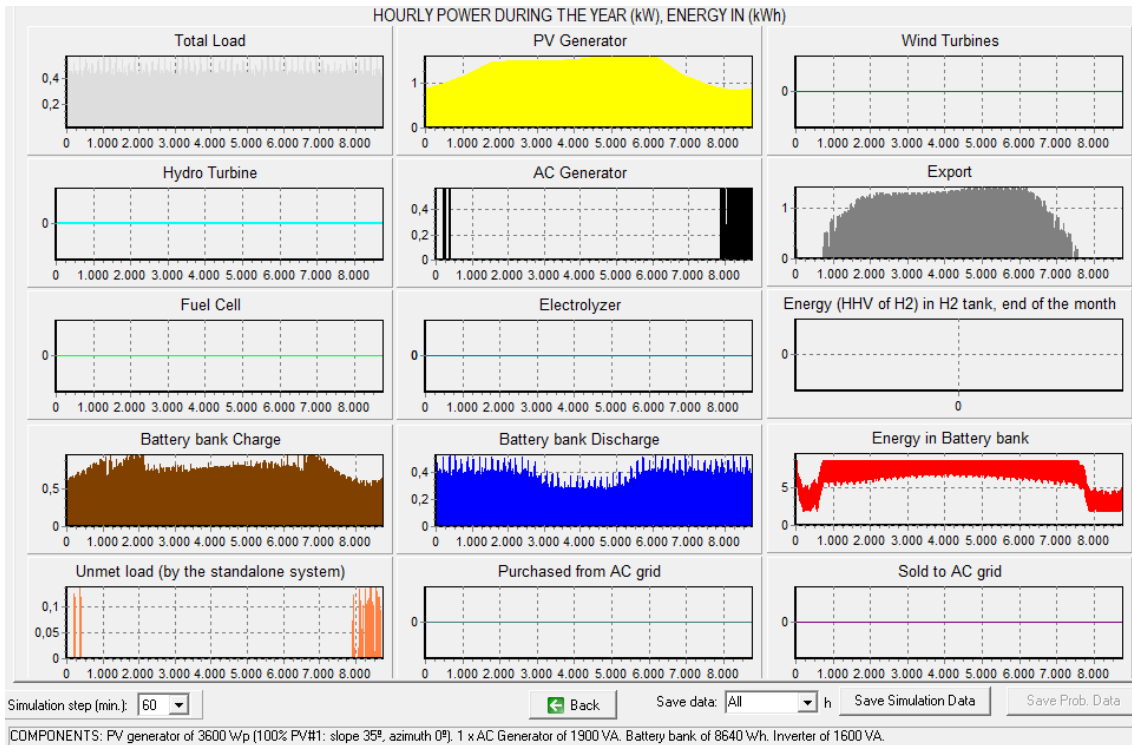


Ilustración 7.13. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Oviedo

- **Renewable Ninja**

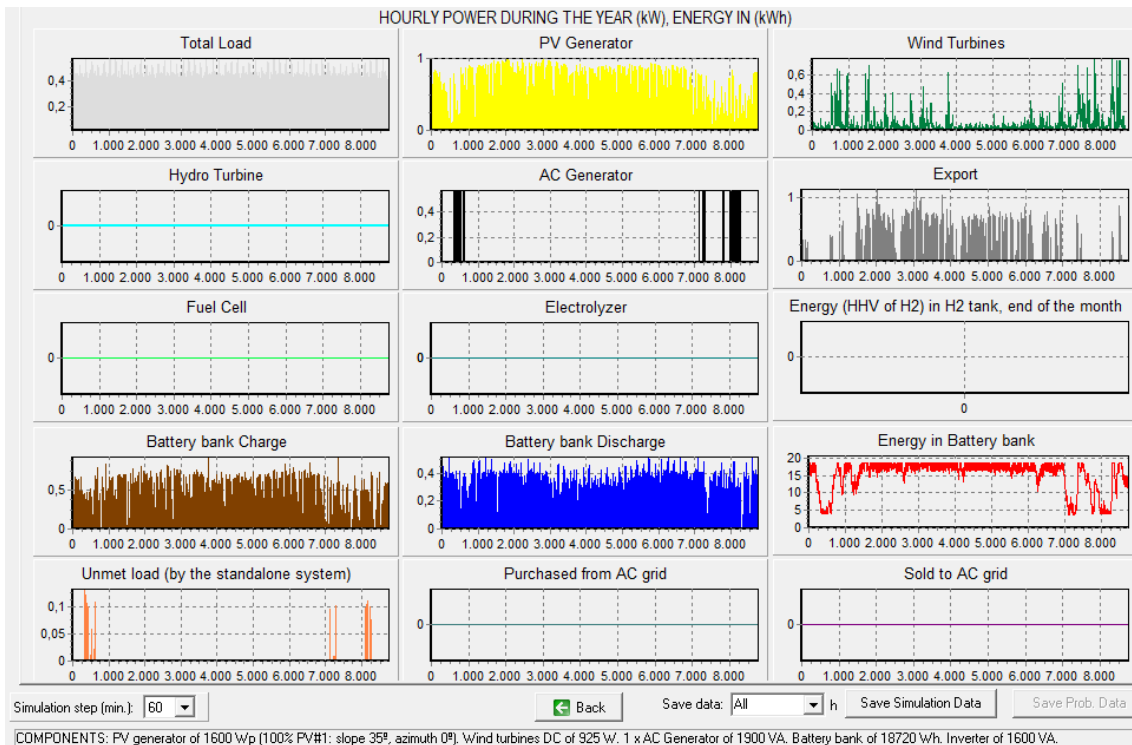


Ilustración 7.14. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Oviedo

- **PVGIS**

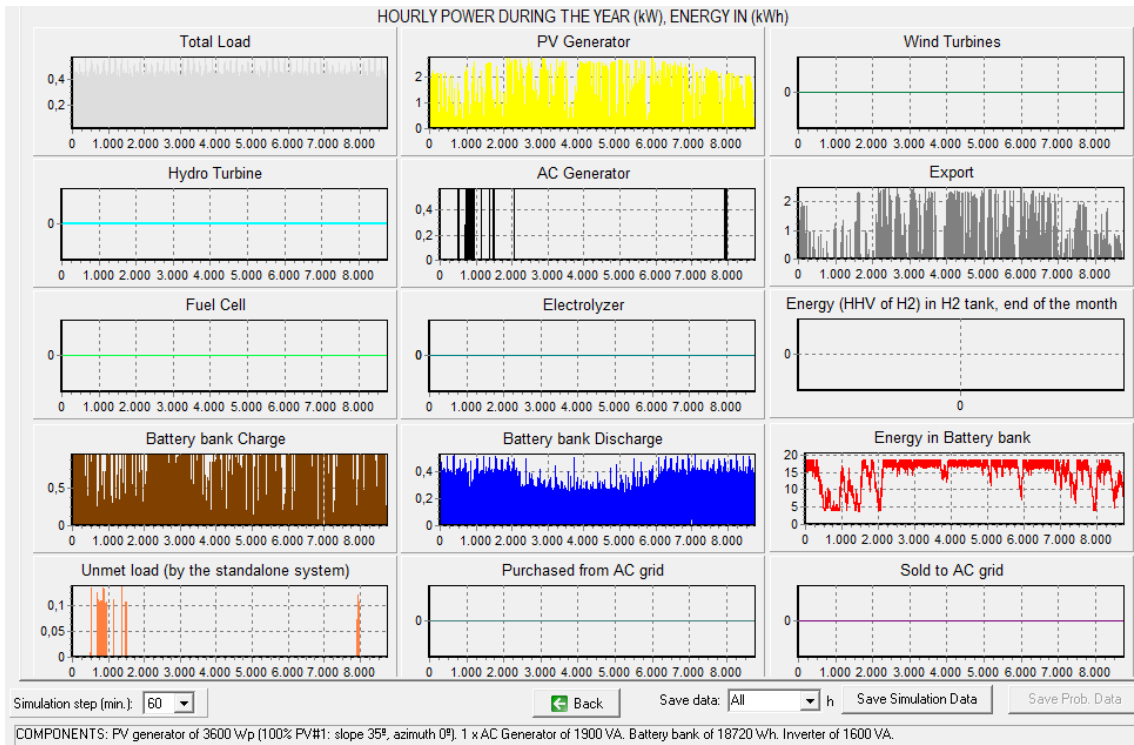


Ilustración 7.15. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Oviedo

## TENERIFE

- **NASA**

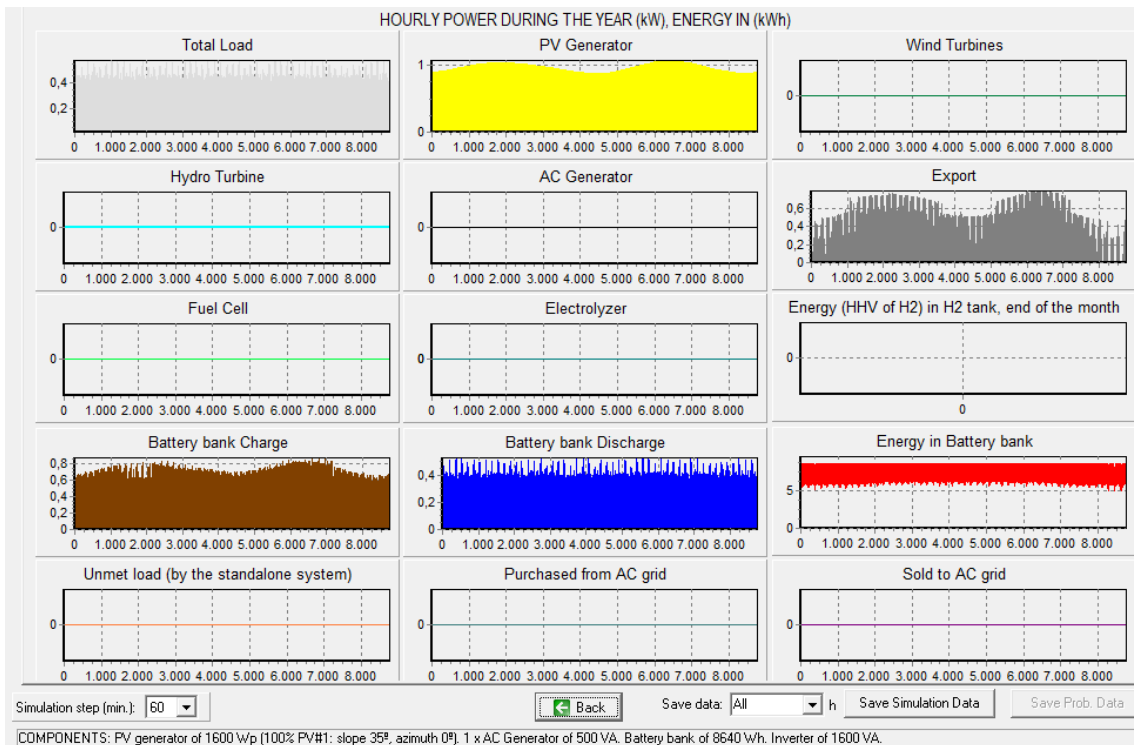


Ilustración 7.16. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Tenerife

- **Renewable Ninja**

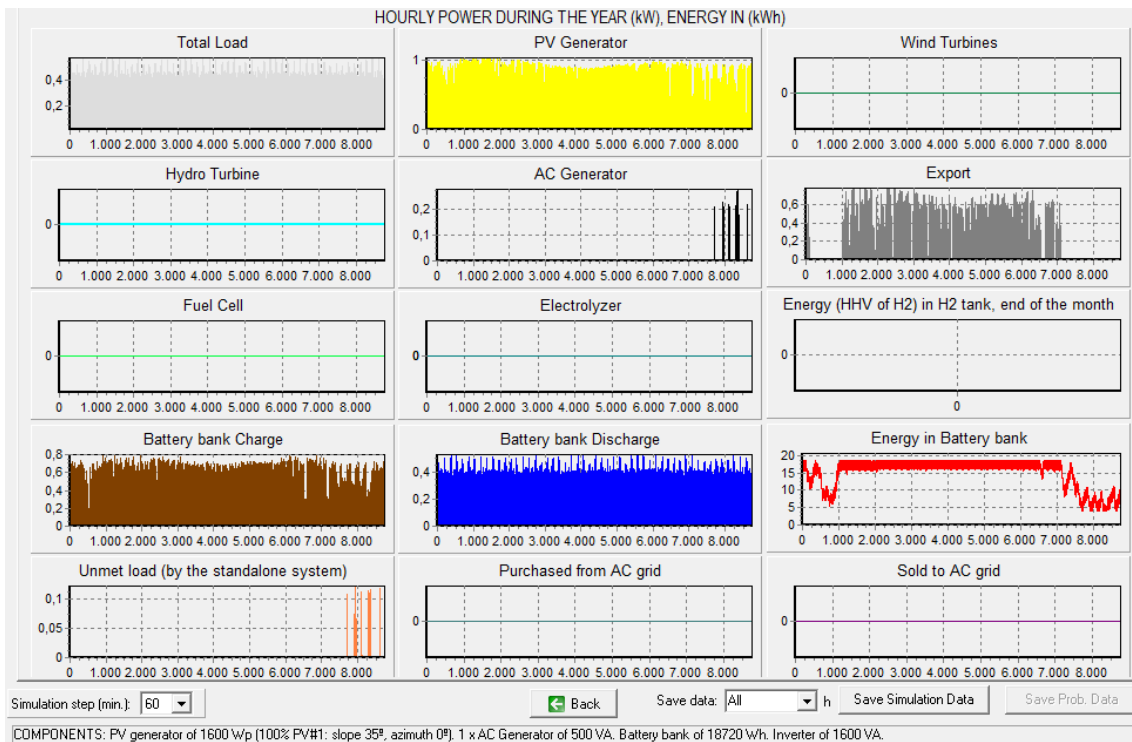


Ilustración 7.17. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Tenerife

- **PVGIS**

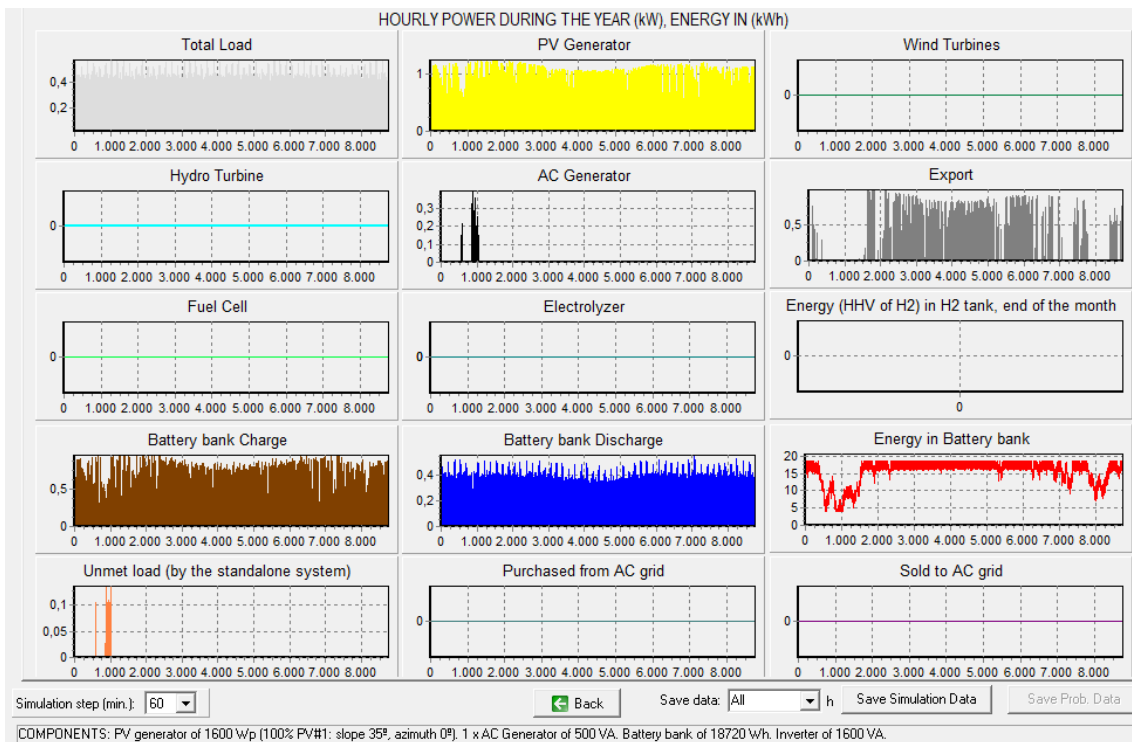


Ilustración 7.18. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Tenerife

## SEVILLA

- **NASA**

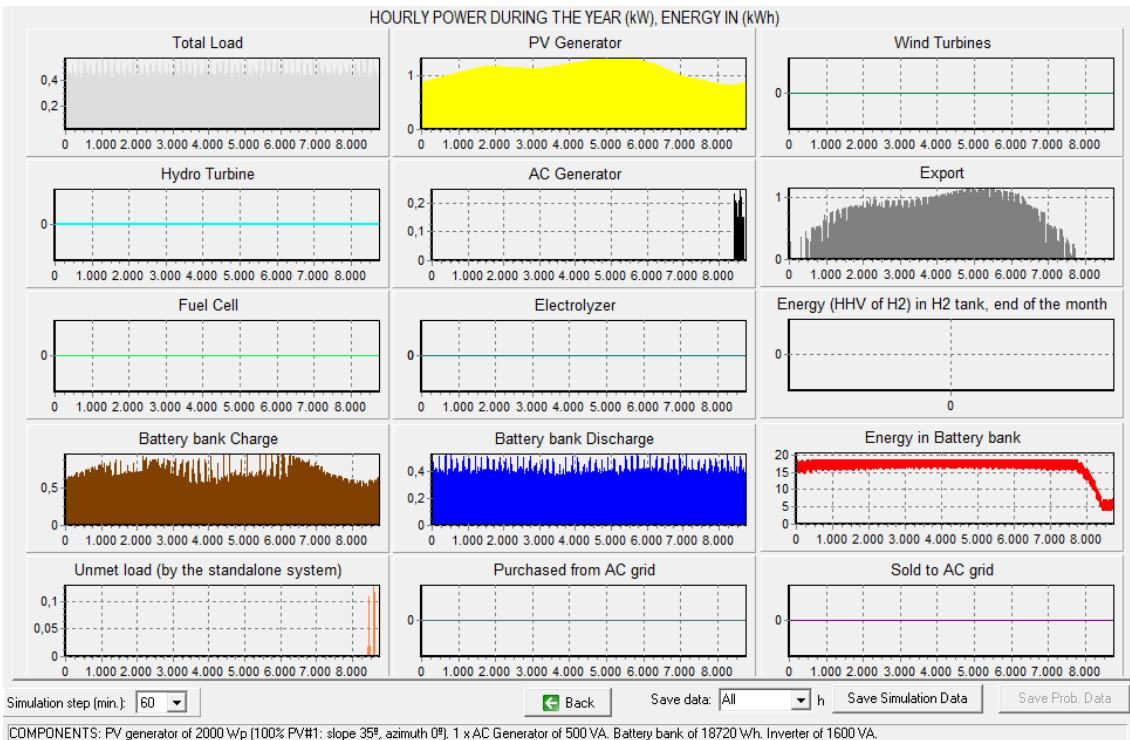


Ilustración 7.19. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Sevilla

- **Renewable Ninja**

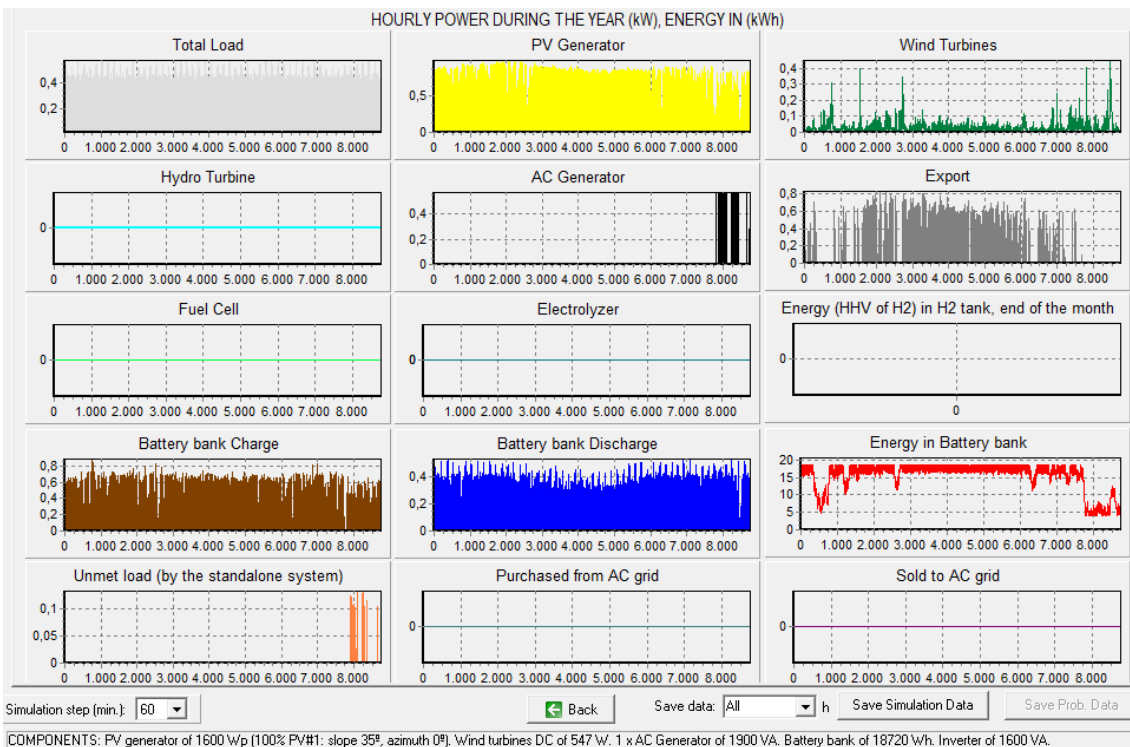


Ilustración 7.20. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Sevilla



- **PVGIS**

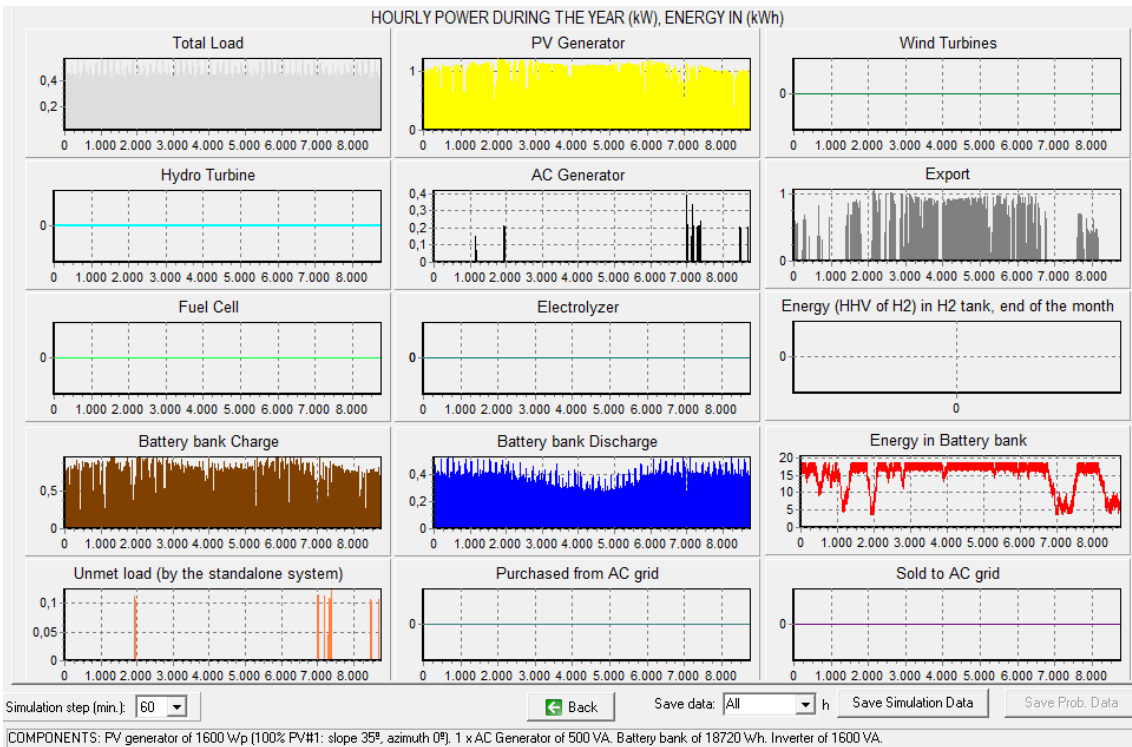


Ilustración 7.21. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Sevilla

## TERUEL

- **NASA**

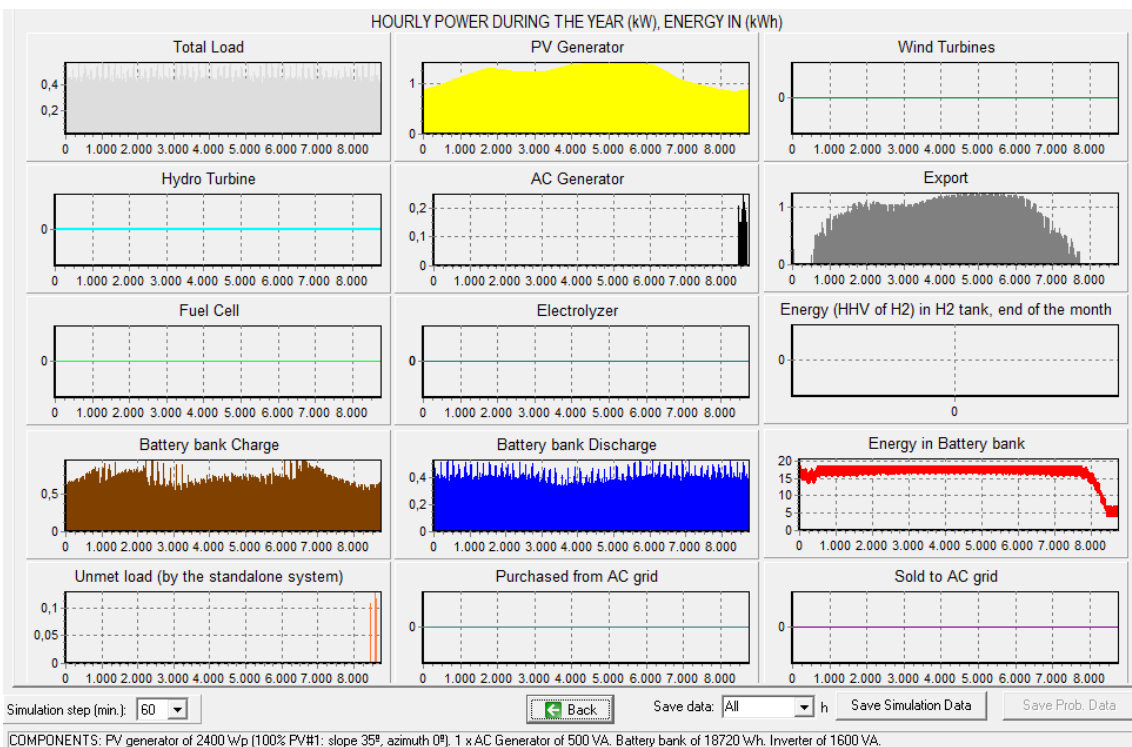


Ilustración 7.22. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Teruel

- **Renewable Ninja**

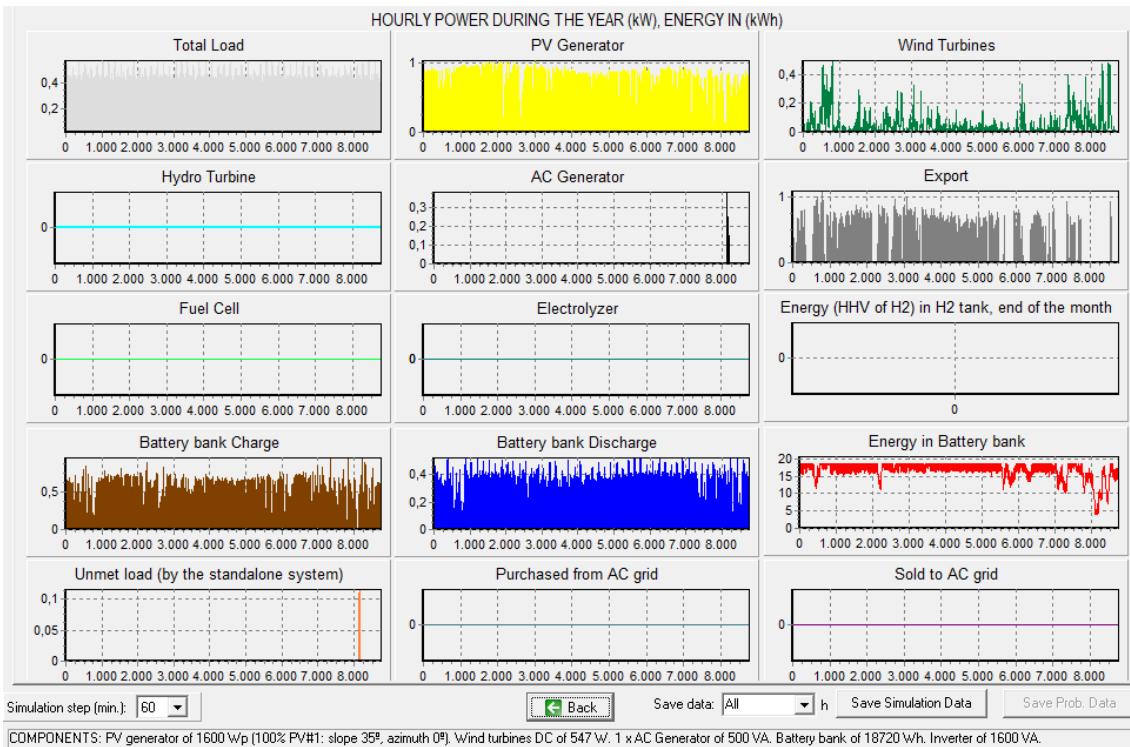


Ilustración 7.23. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Teruel

- **PVGIS**

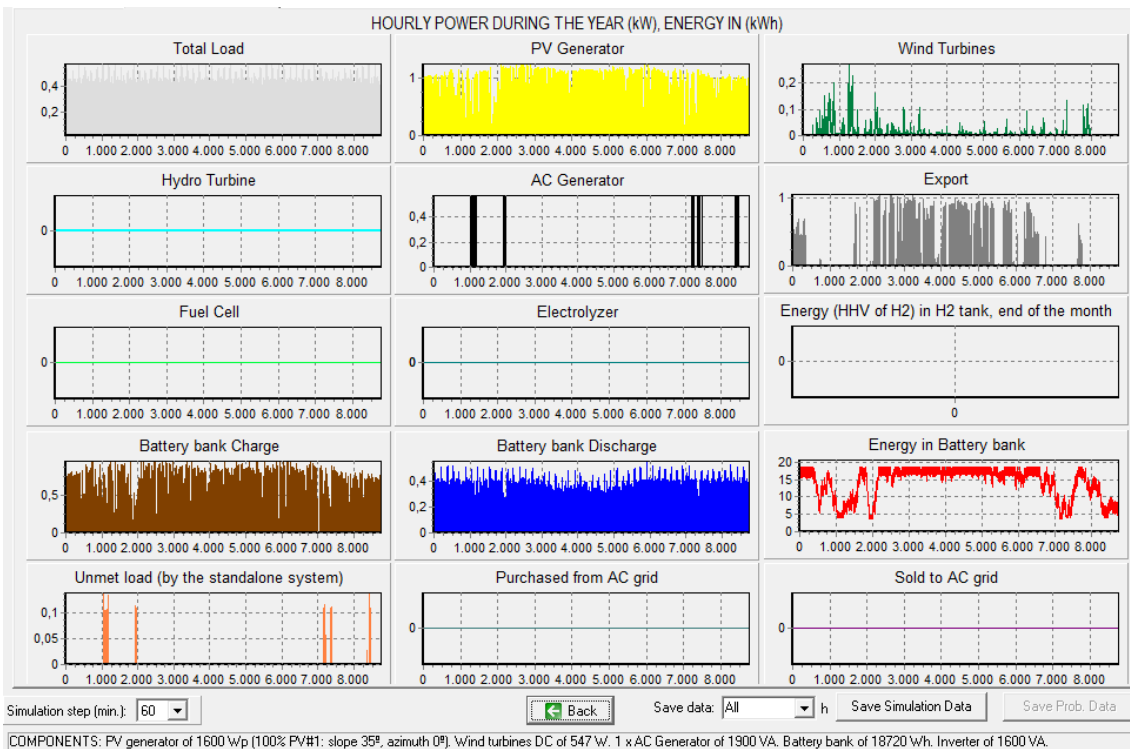


Ilustración 7.24. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Teruel

## VALENCIA

- **NASA**

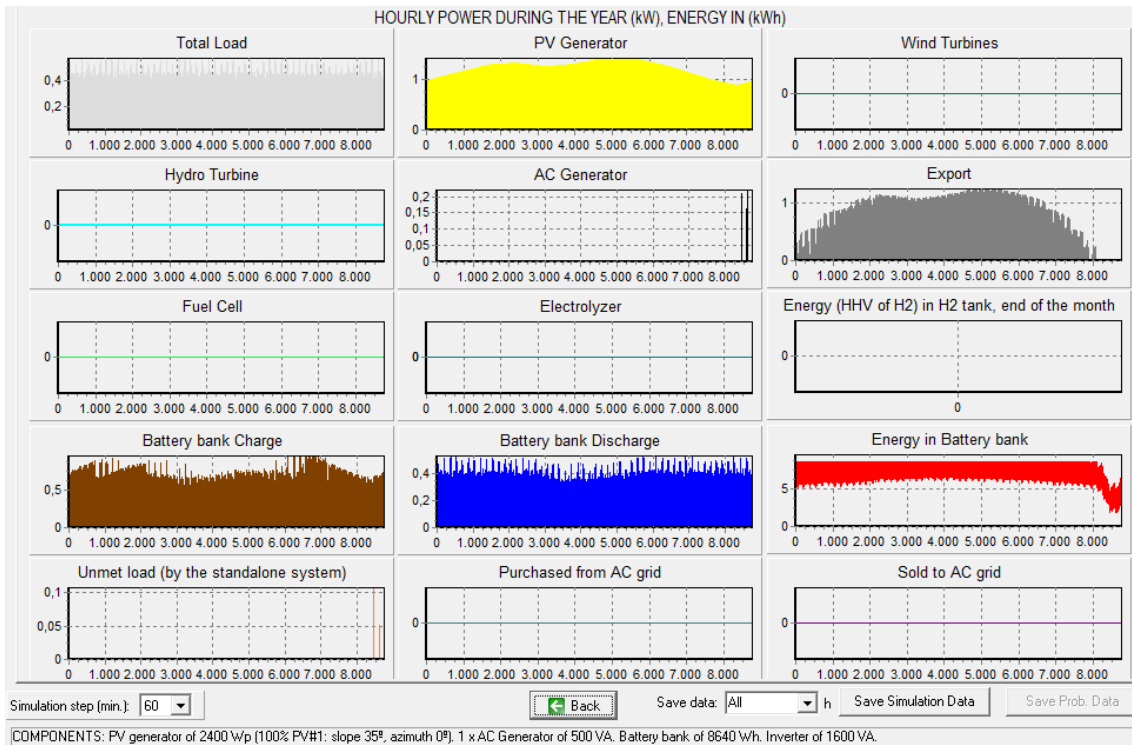


Ilustración 7.25. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Valencia

- **Renewable Ninja**

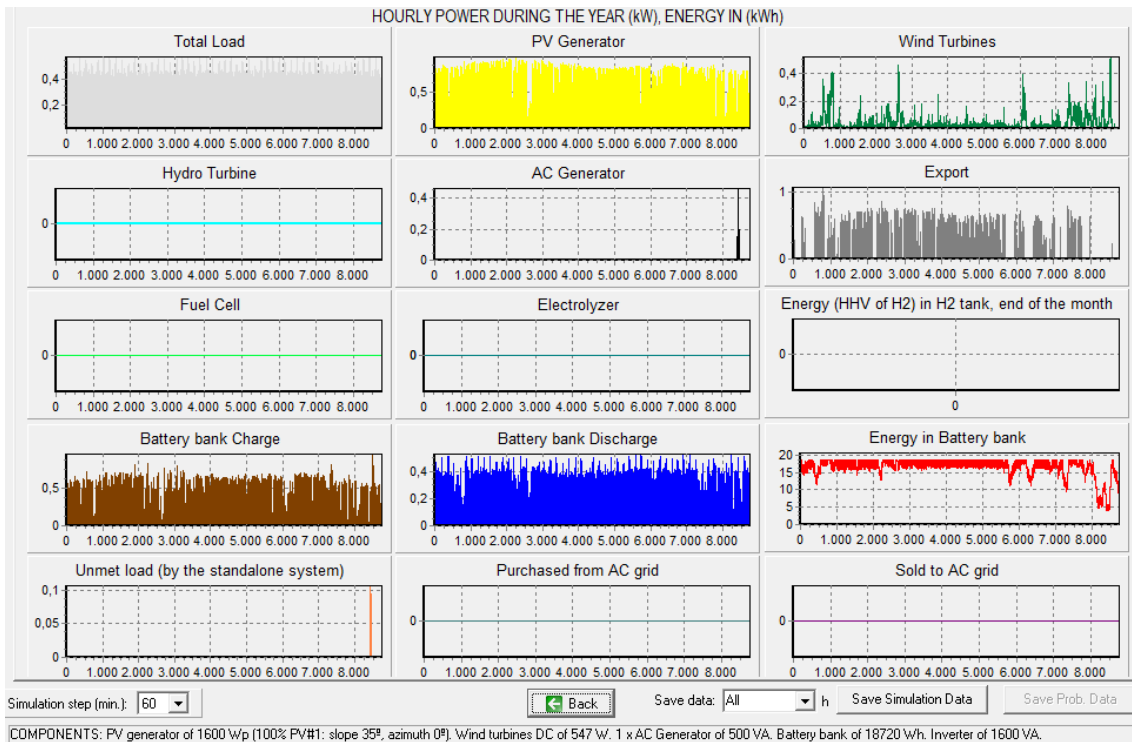


Ilustración 7.26. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Valencia

- **PVGIS**

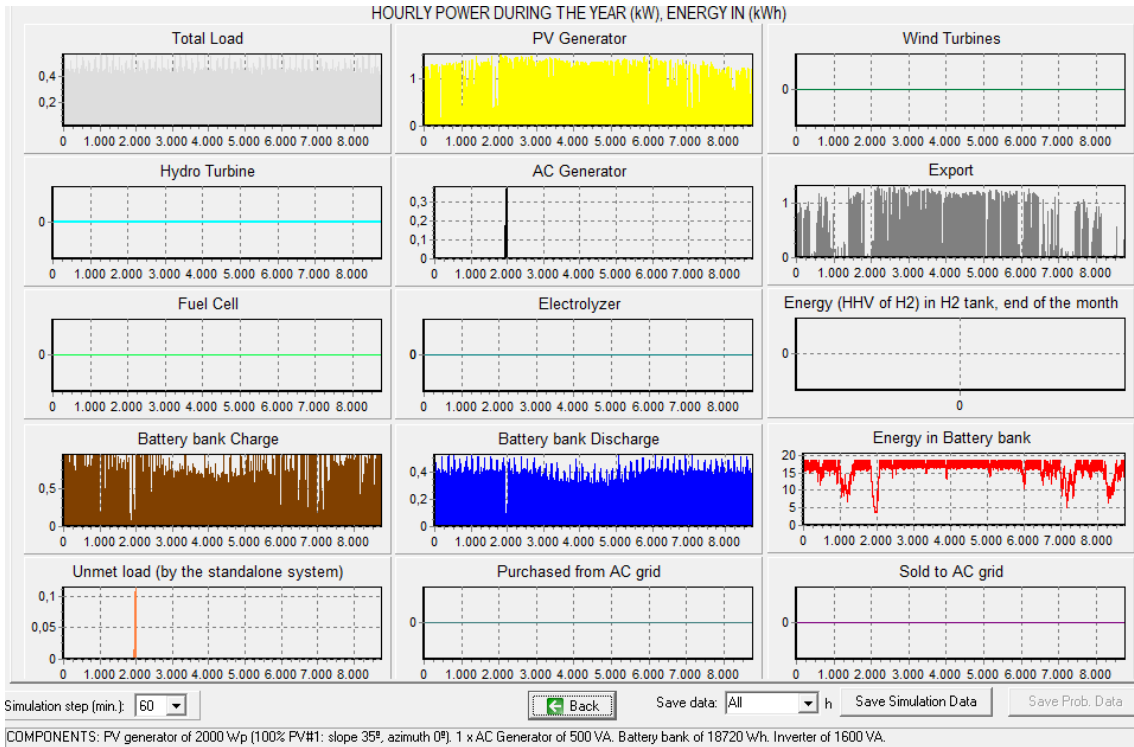


Ilustración 7.27. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Valencia

## ZARAGOZA

- **NASA**

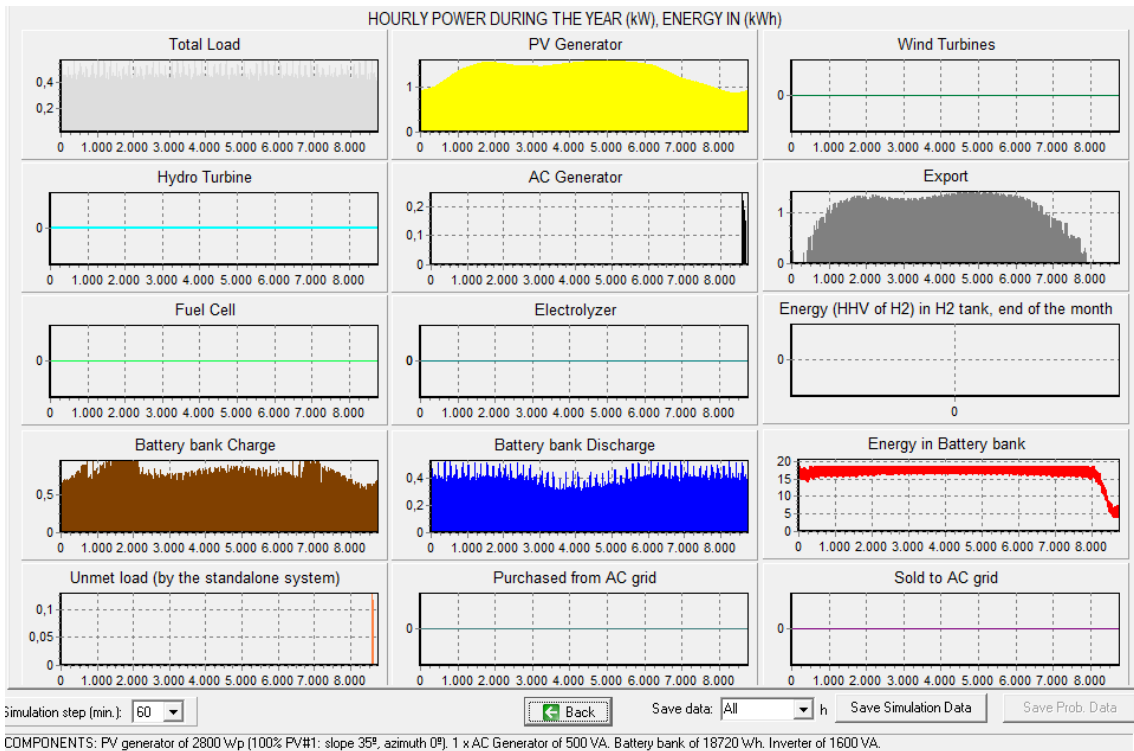


Ilustración 7.28. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Zaragoza

- **Renewable Ninja**

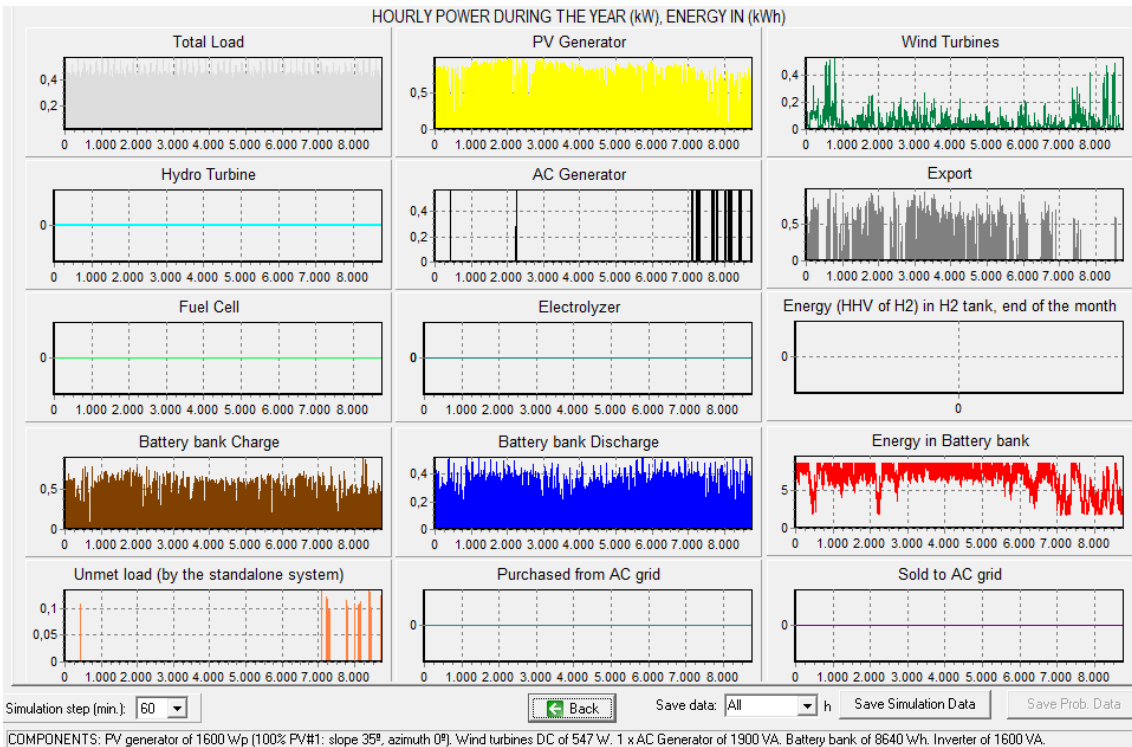


Ilustración 7.29. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Zaragoza

- **PVGIS**

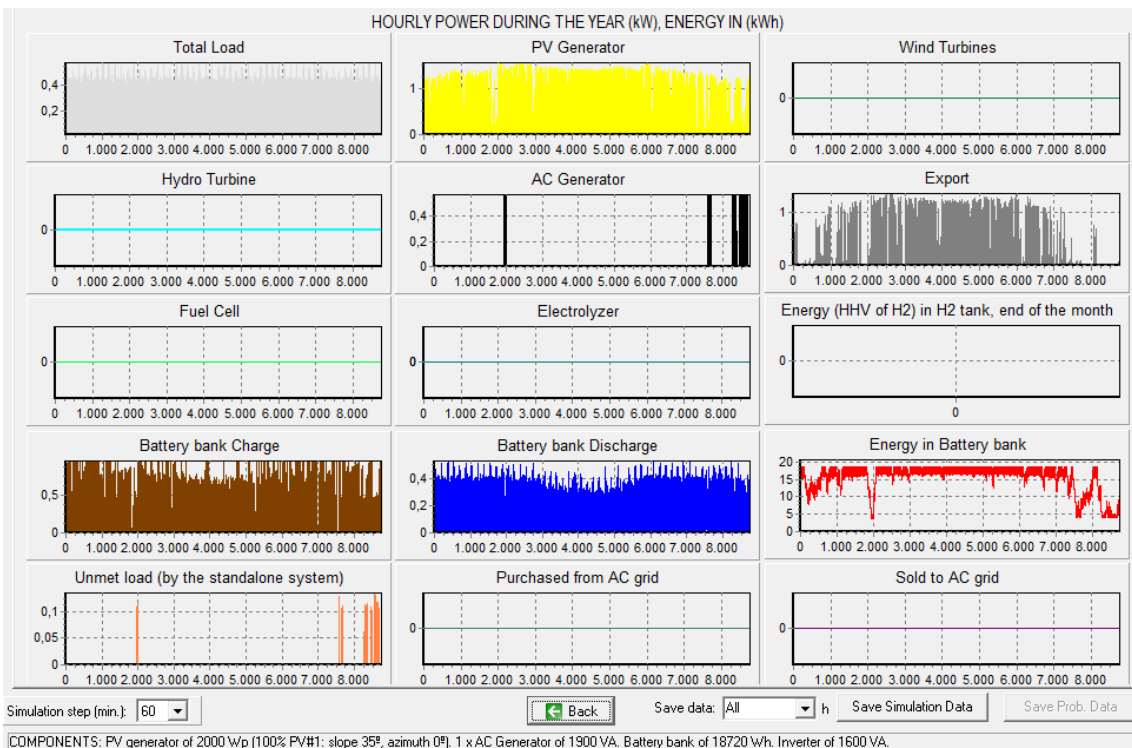


Ilustración 7.30. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Zaragoza

## BERLÍN

- **NASA**

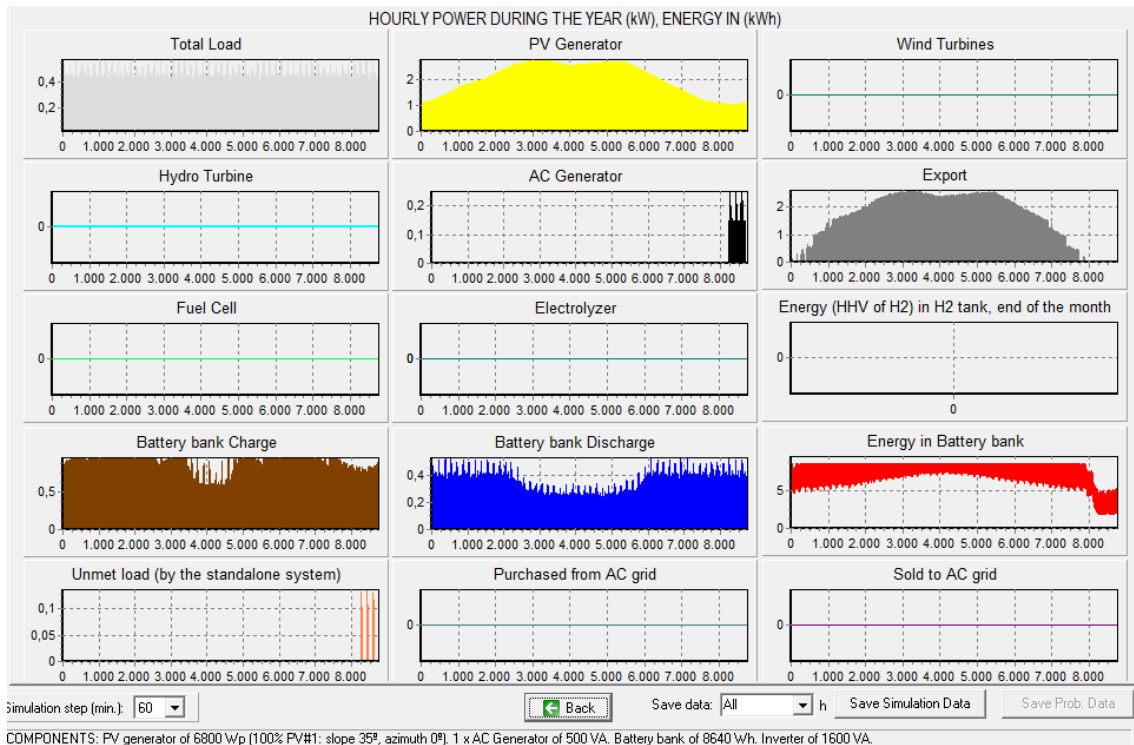


Ilustración 7.31. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Berlín

- **Renewable Ninja**

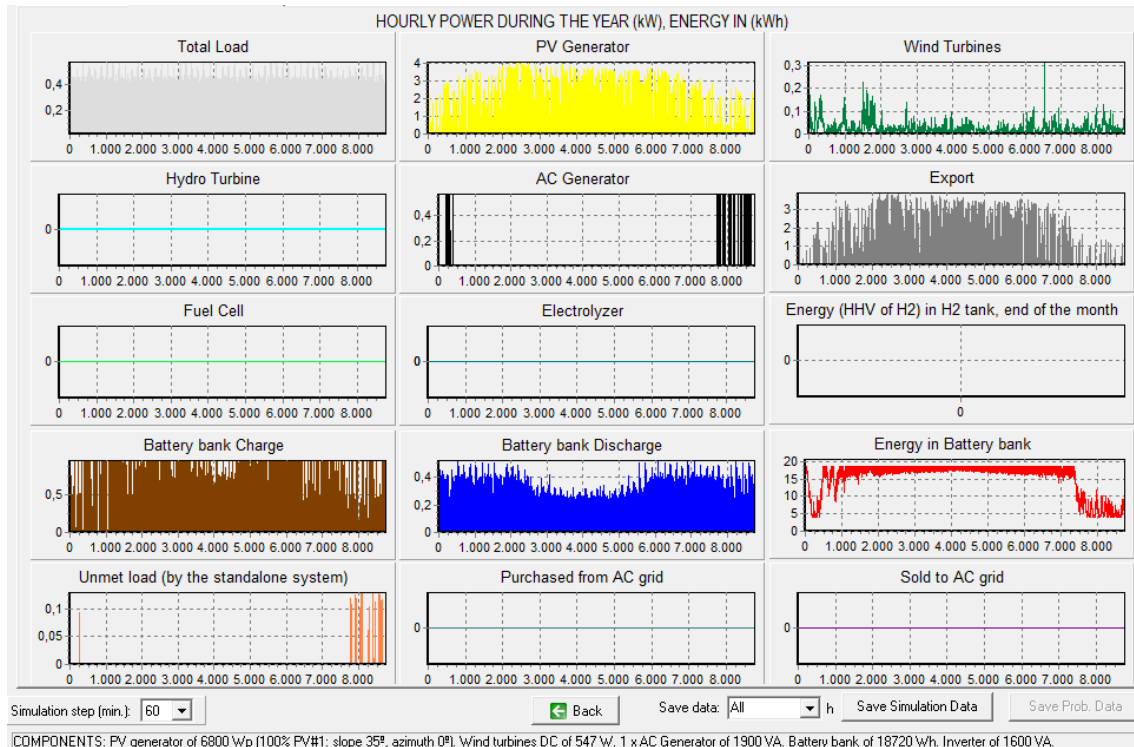


Ilustración 7.32. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Berlín

- **PVGIS**

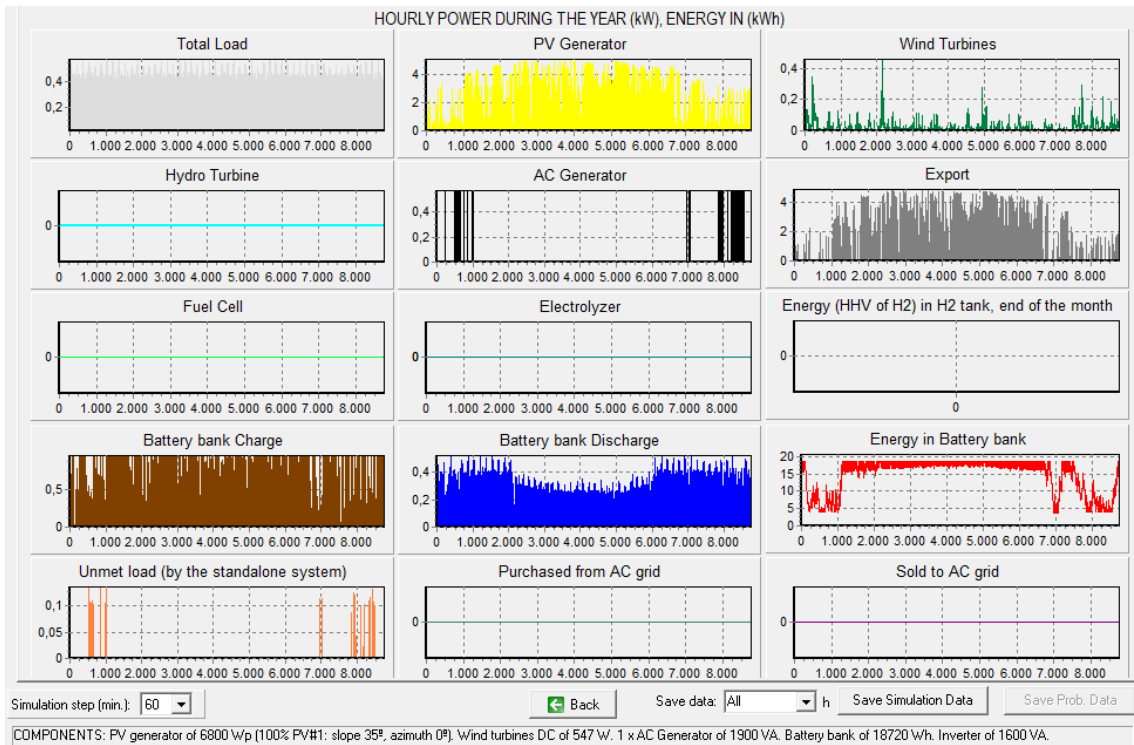


Ilustración 7.33. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Berlín

## CLUJ NAPOCA

- **NASA**

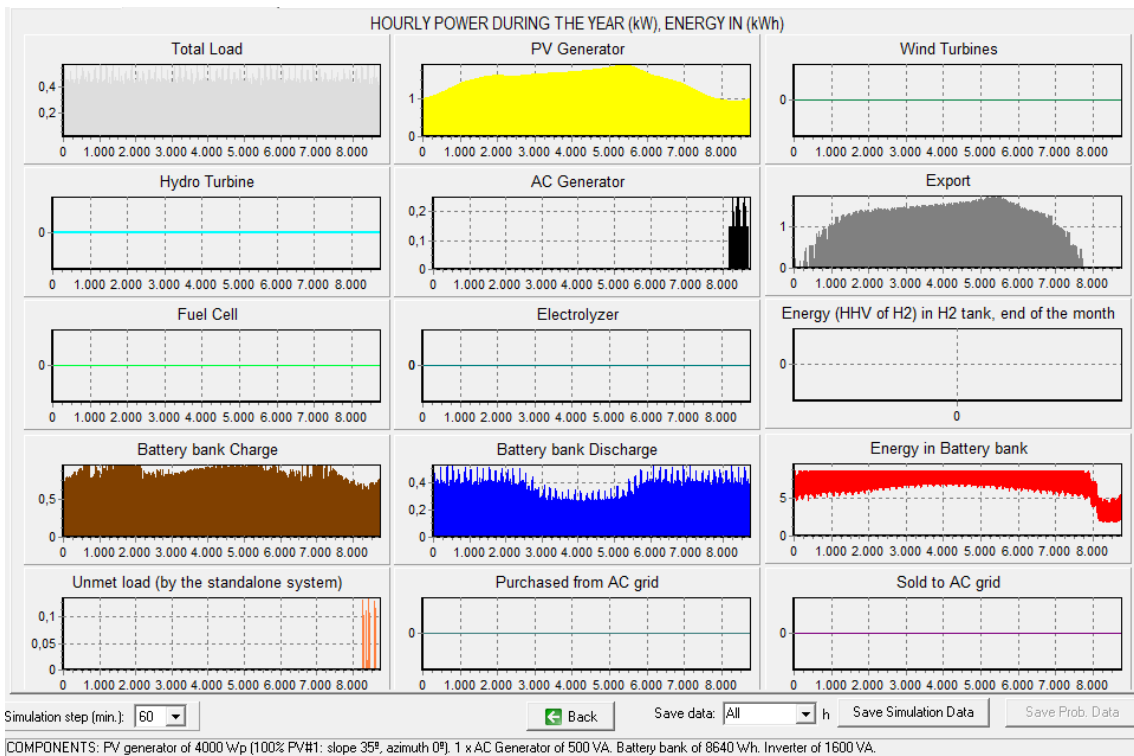


Ilustración 7.34. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Cluj Napoca

- **Renewable Ninja**

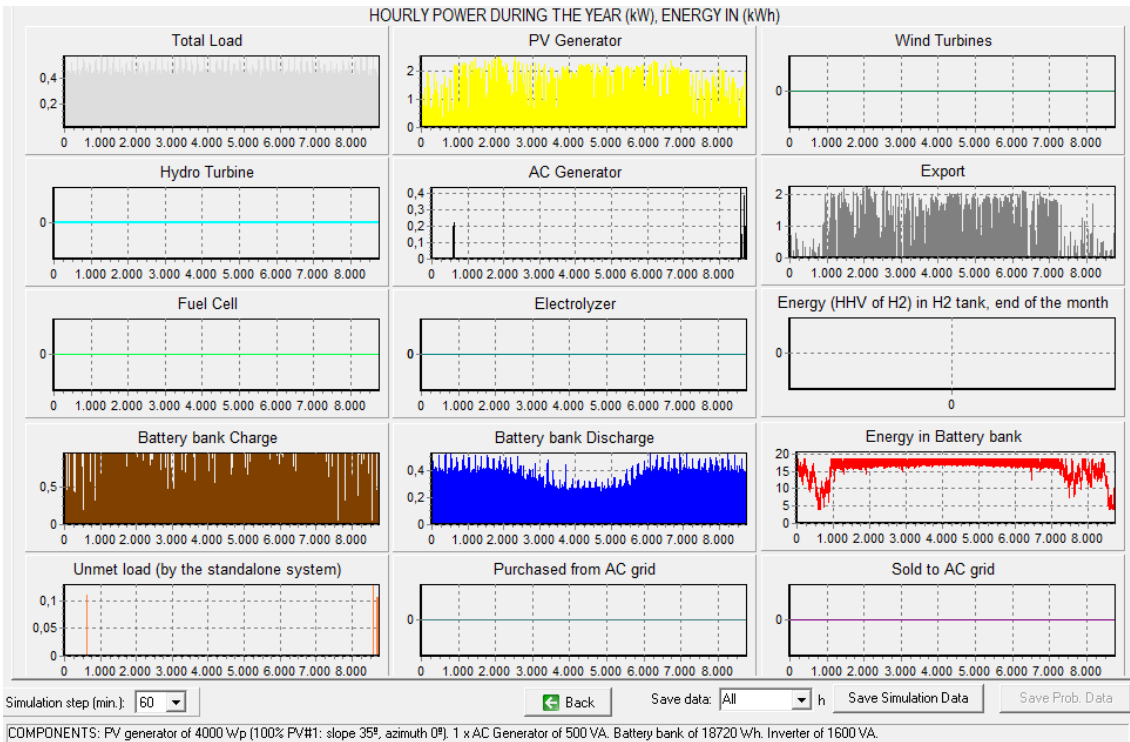


Ilustración 7.35. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Cluj Napoca

- **PVGIS**

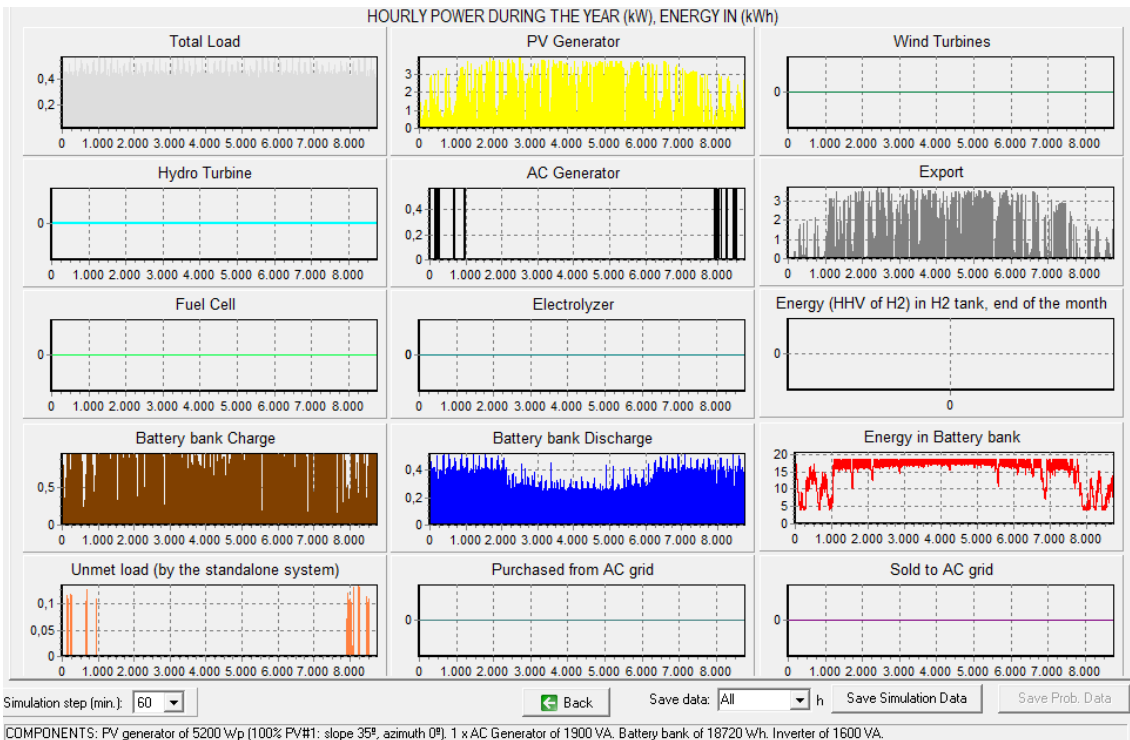


Ilustración 7.36. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Cluj Napoca



## ESTOCOLMO

- **NASA**

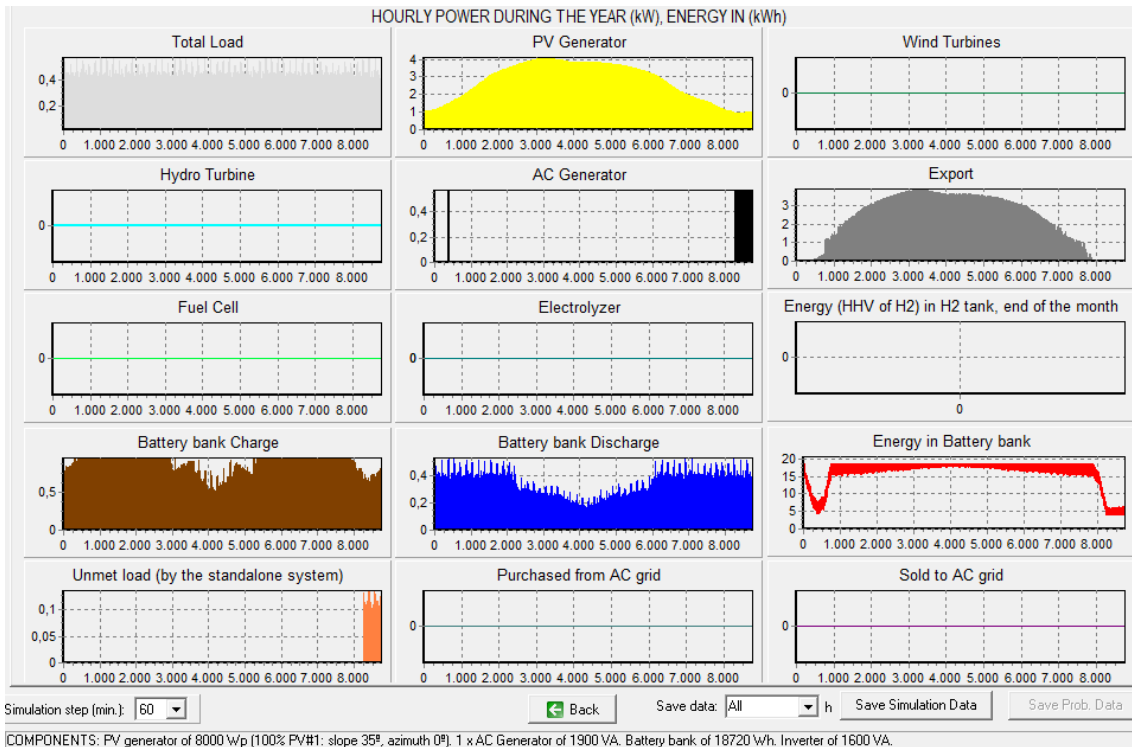


Ilustración 7.37. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Estocolmo

- **Renewable Ninja**

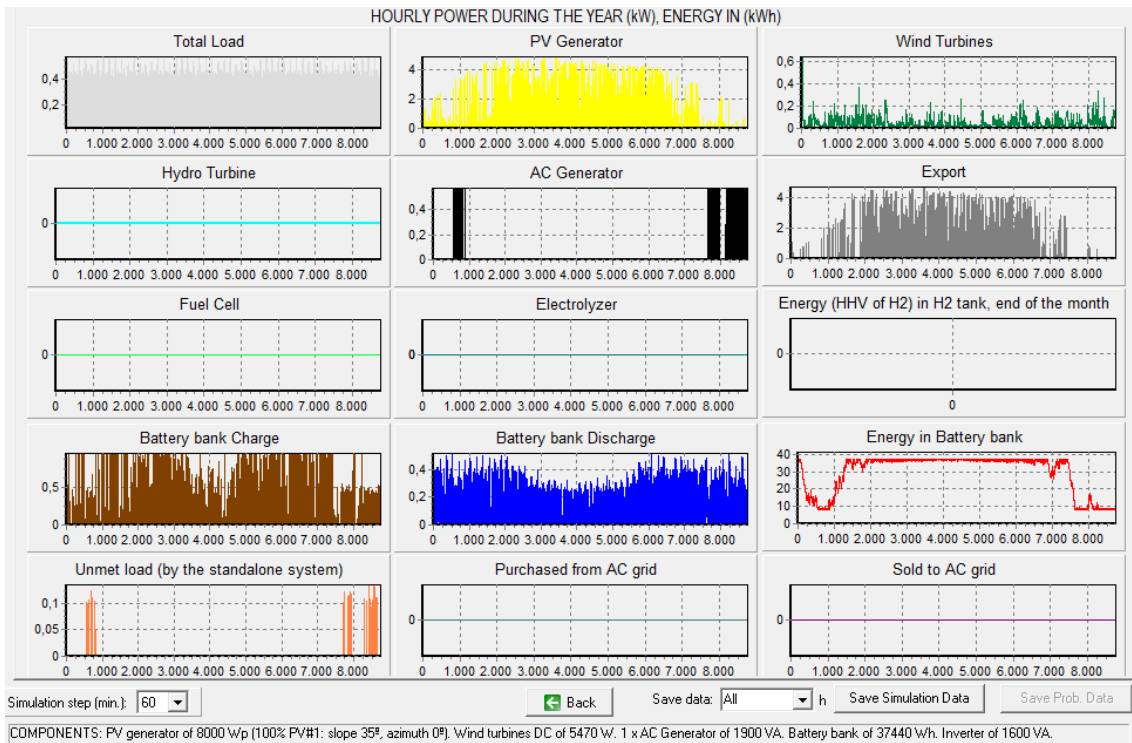


Ilustración 7.38. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Estocolmo

- **PVGIS**

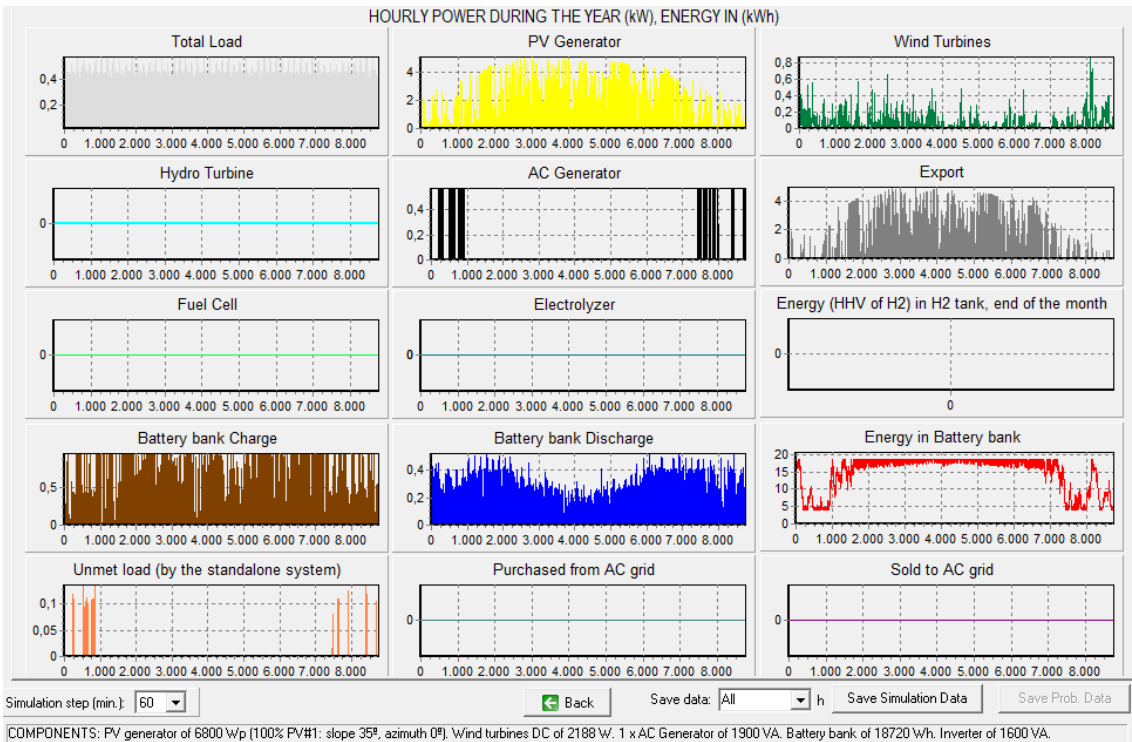


Ilustración 7.39. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Estocolmo

## HELSINKI

- **NASA**

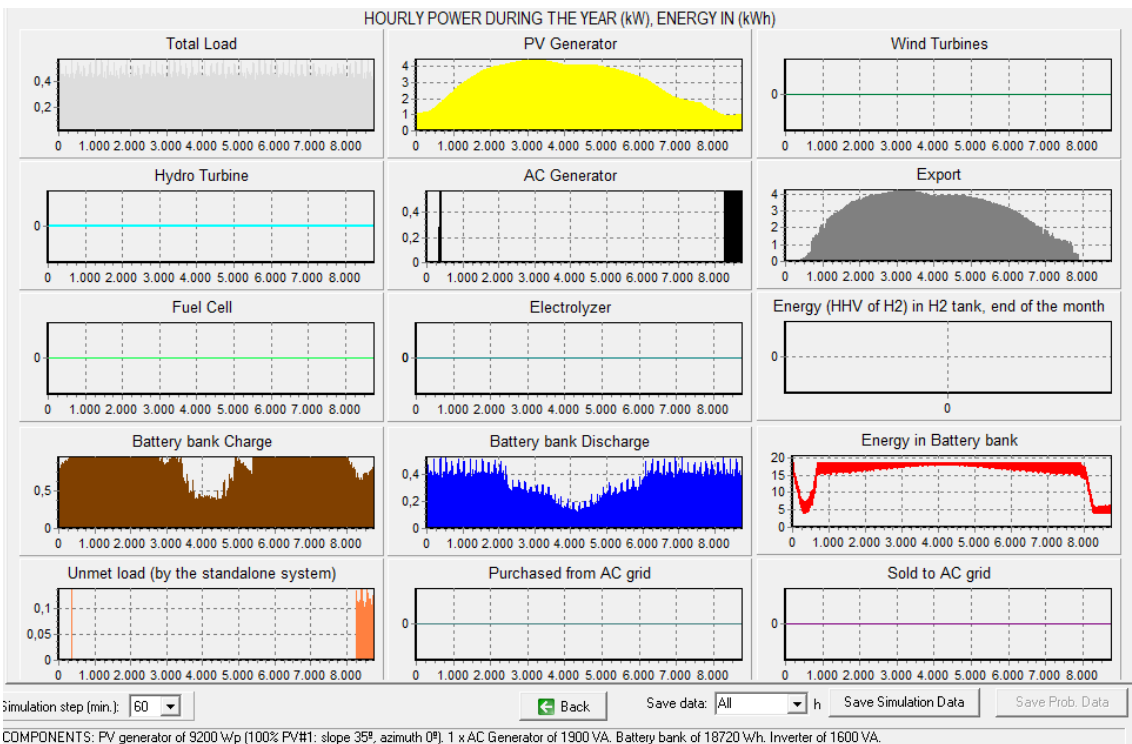
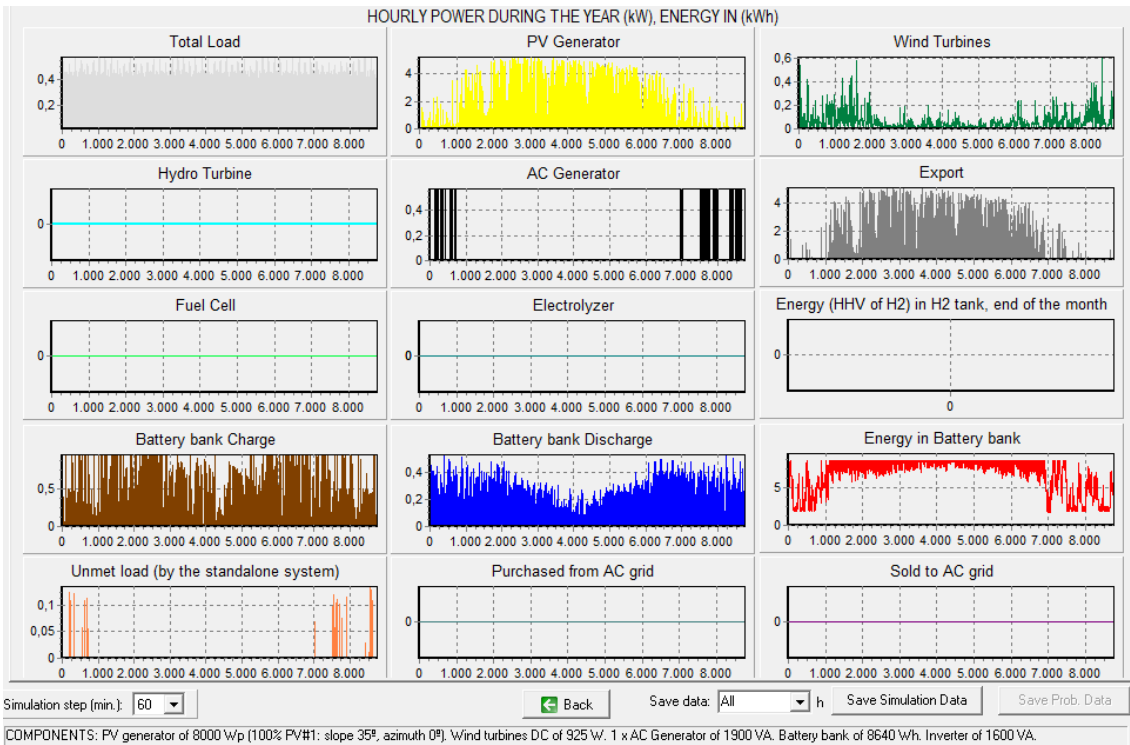


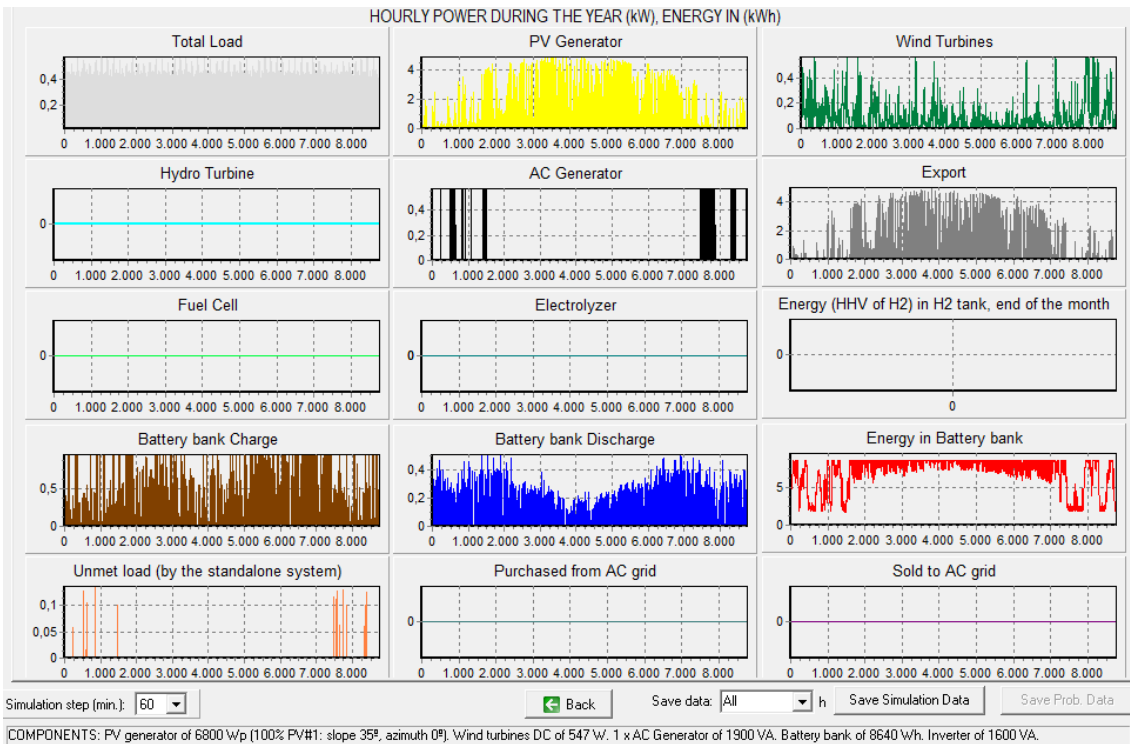
Ilustración 7.40. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Helsinki

- **Renewable Ninja**



*Ilustración 7.41. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Helsinki*

- **PVGIS**



*Ilustración 7.42. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Helsinki*

# PARÍS

- **NASA**

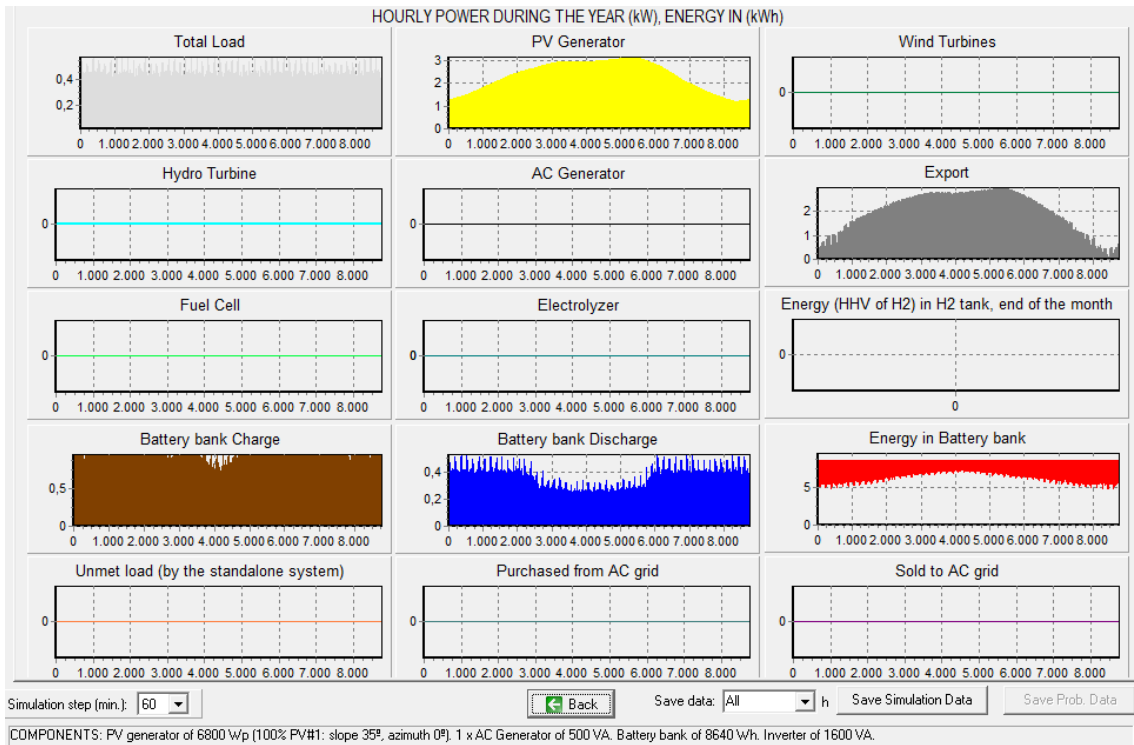


Ilustración 7.43. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para París

- **Renewable Ninja**

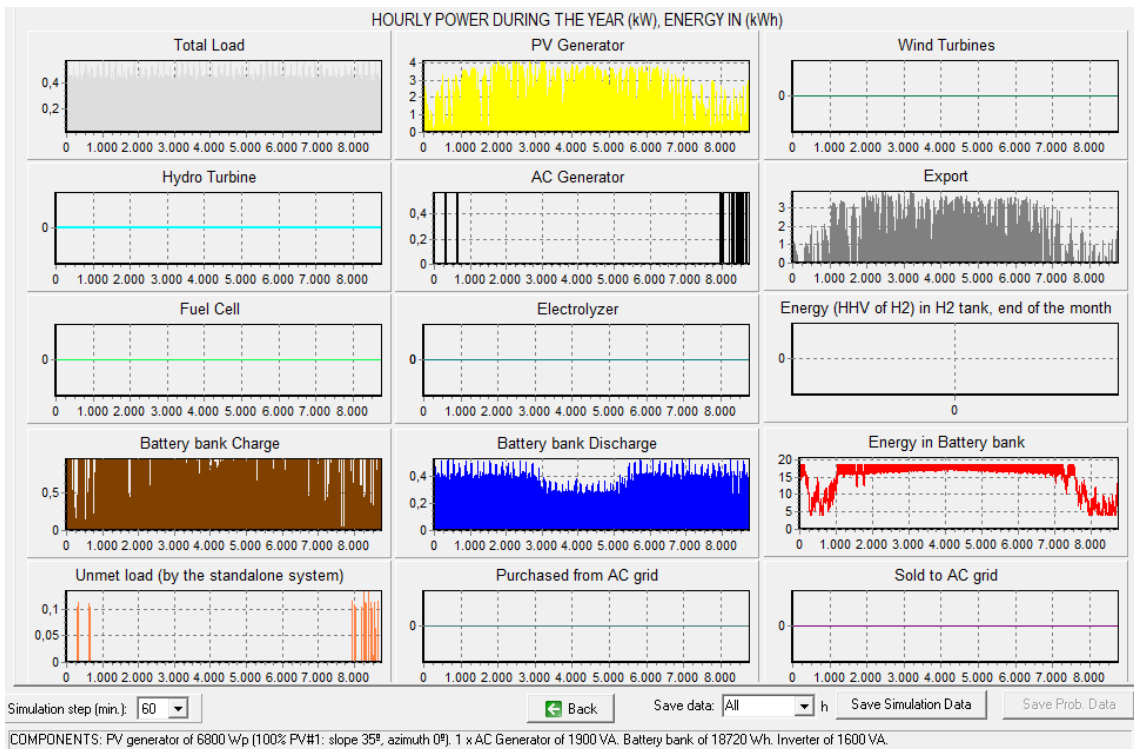


Ilustración 7.44. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para París

- **PVGIS**

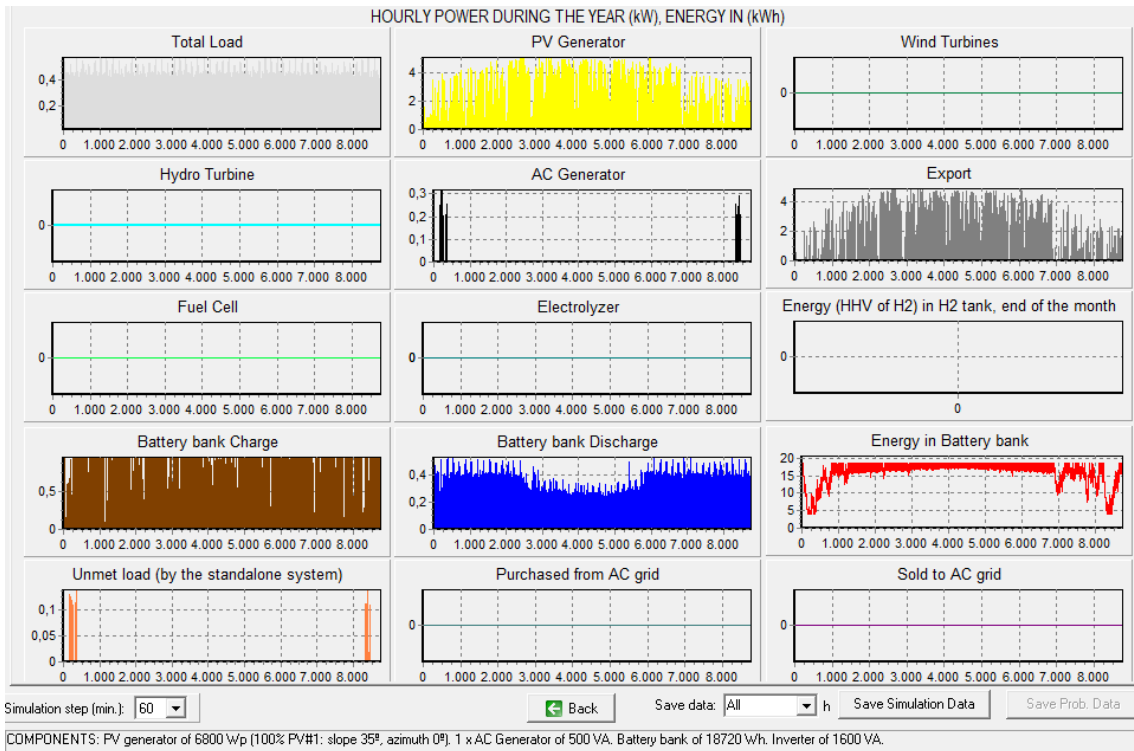


Ilustración 7.45. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para París

## ROMA

- **NASA**

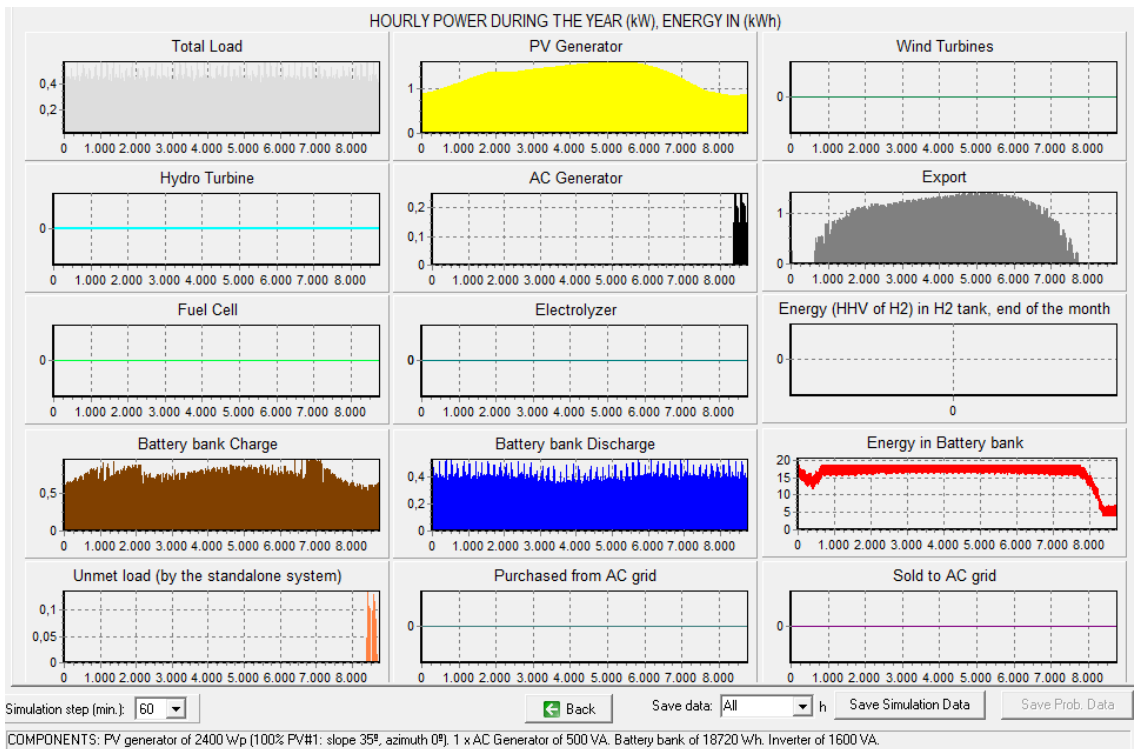


Ilustración 7.46. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Roma

- **Renewable Ninja**

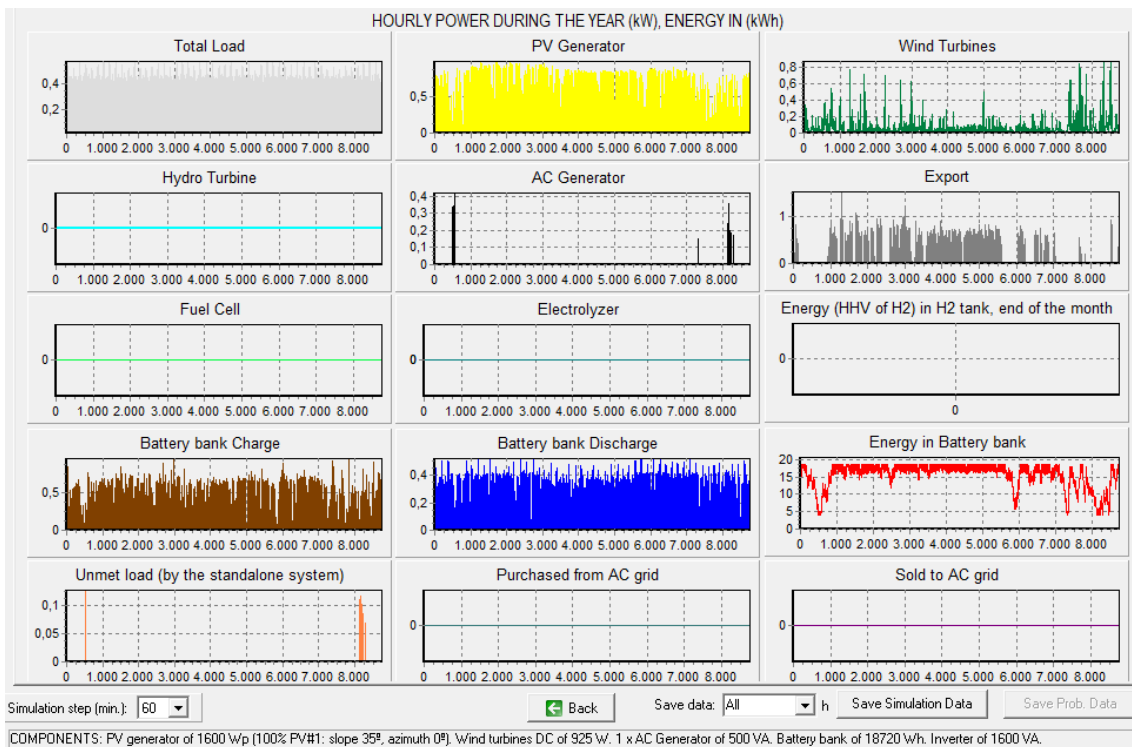


Ilustración 7.47. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Roma

- **PVGIS**

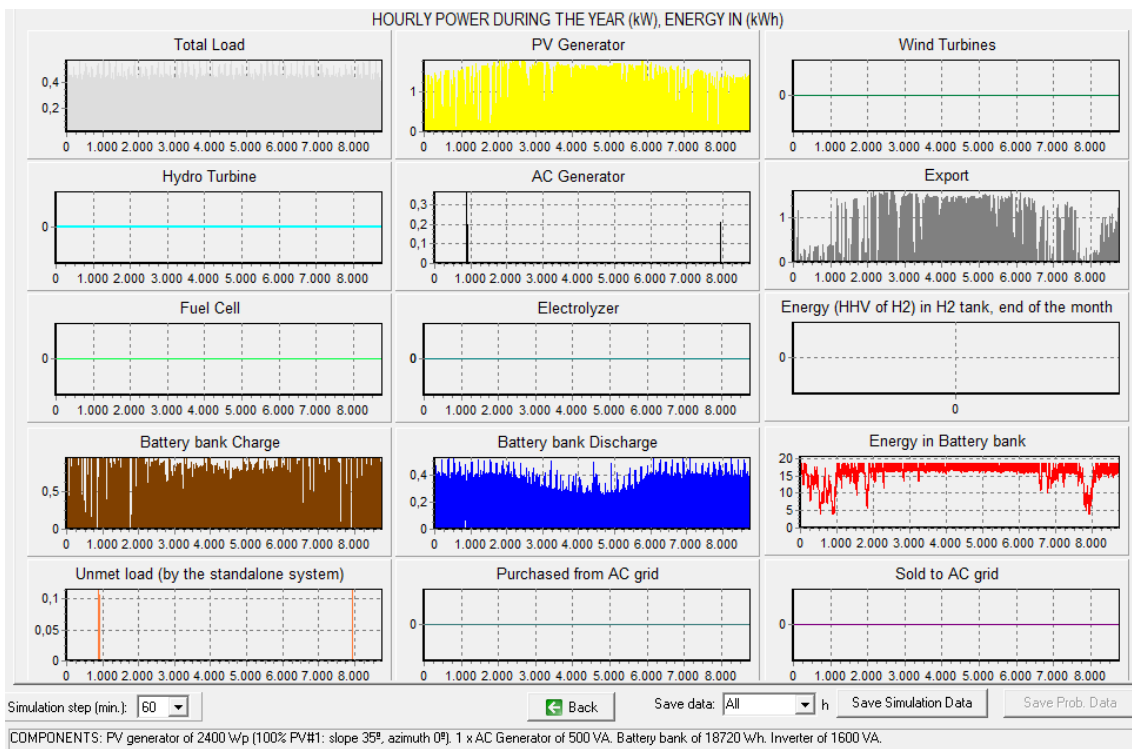


Ilustración 7.48. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Roma

## ZÜRICH

- **NASA**

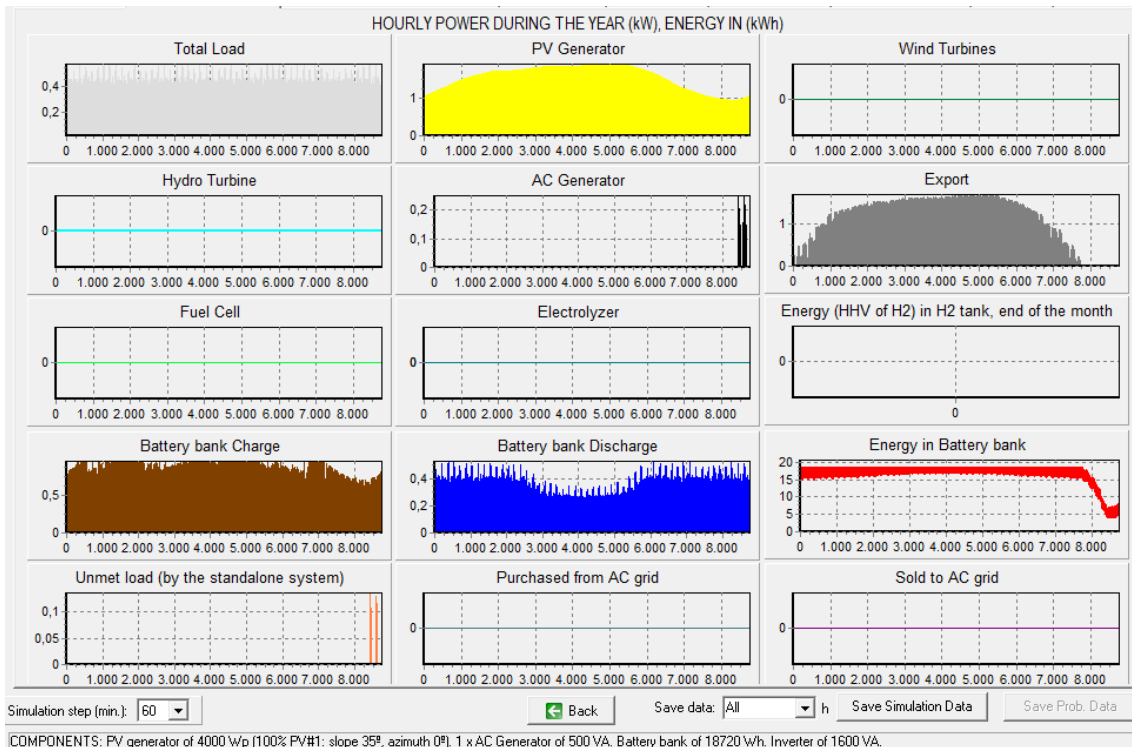


Ilustración 7.49. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Zürich

- **Renewable Ninja**

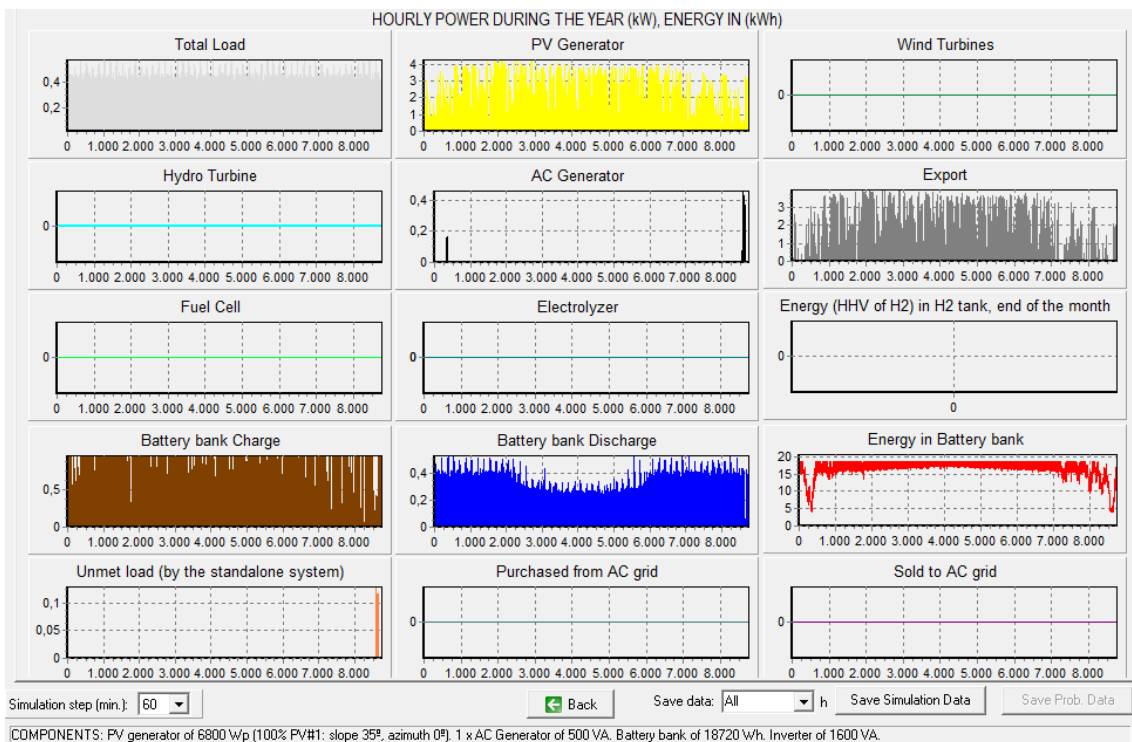
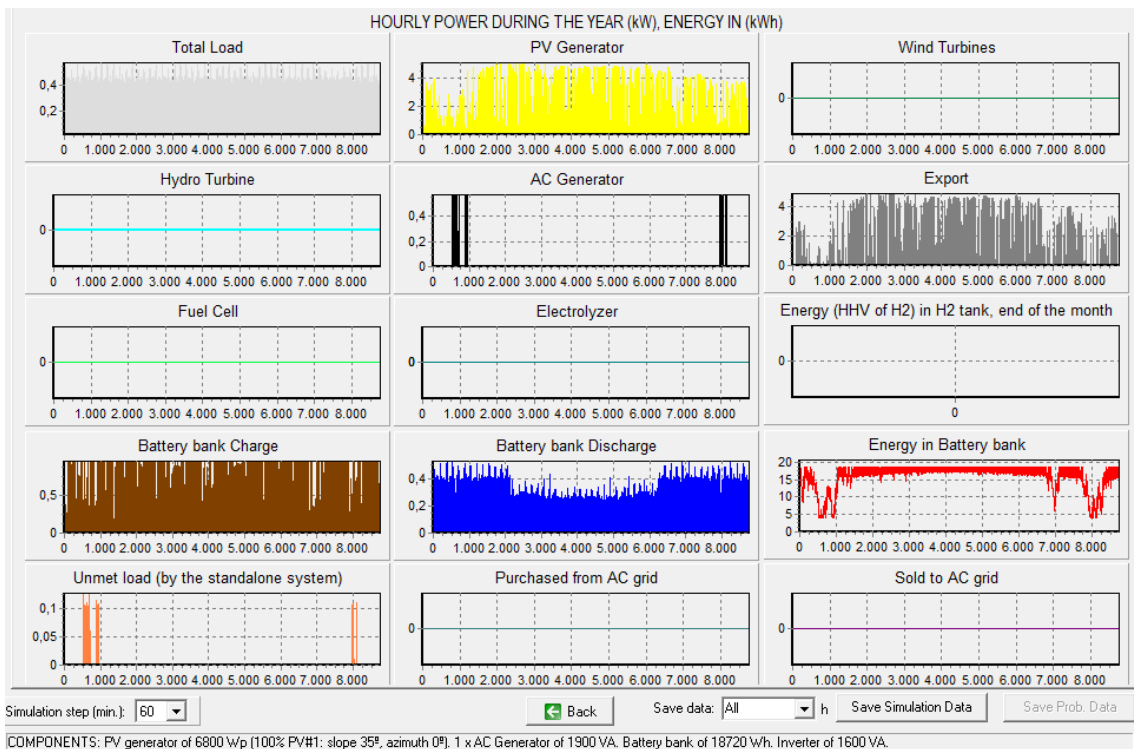


Ilustración 7.50. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Zürich

- PVGIS



*Ilustración 7.51. Simulación valores horarios a lo largo de todo el año de diferentes parámetros para Zürich*