



**Universidad**  
Zaragoza

# TRABAJO FIN DE GRADO

**Título del trabajo:**

Análisis comparativo de diferentes fuentes de datos de irradiación,  
viento y temperatura

**English title:**

Comparative analysis of different sources of irradiation, wind and  
temperature data

**Autor:**

Alejandro Mairal Sanromán

**Director:**

Rodolfo Dufo López

Escuela de Ingeniería y Arquitectura – Grado de Ingeniería de Tecnologías  
Industriales

Universidad de Zaragoza

Curso 2019/2020

## Resumen

### Análisis comparativo de diferentes fuentes de datos de irradiación, viento y temperatura

A lo largo de la historia, la civilización ha mantenido una constante búsqueda de distintas fuentes de la energía que abastezcan nuestras necesidades con el máximo de los beneficios posibles. Entre las numerosas formas de obtención de la energía eléctrica, destaca en los últimos años, el gran auge de la energía renovable (fundamentalmente la hidroeléctrica, eólica y solar fotovoltaica) colocándose como la forma de energía más prometedora del futuro dando un gran número de ventajas económicas y medioambientales.

Las reservas de combustibles fósiles están llegando a sus mínimos y a su vez problemas medioambientales como el calentamiento global, el deshielo polar o el cambio climático, entre otros, están provocando el deterioro del medioambiente.

Es por ello que algunas fuentes renovables como la solar y la eólica se posicionan como la energía del futuro teniendo un gran peso en la industria actual. Para poder estimar la generación eléctrica fotovoltaica y eólica es necesario conocer la irradiación, el viento y la temperatura.

En este trabajo se analizarán estos tres conceptos meteorológicos. Para ello, se hará uso de dos grandes bases de datos como son la NASA y Renewable.Ninja, cuyas metodologías para la obtención de los datos de irradiación, viento y temperatura (explicadas en artículos científicos) se estudiarán realizando un estudio comparativo entre ambas bases de datos en su funcionamiento y su efectividad.

Nos ayudaremos con la descarga de datos de estas dos bases de datos de temperatura, irradiación y viento desde el año 2012 hasta el 2018 para 16 ciudades españolas y 5 ciudades brasileñas para visualizar y estudiar la diferencia en los datos obtenidos con cada base de datos y ver así su efectividad en nuestro país así como en un país alejado de la Unión Europea.

Para ayudarnos en la comparativa, se realizará el cálculo de distintos parámetros para cada fenómeno meteorológico como por ejemplo medias, máximos y mínimos, desviaciones típicas, factor de correlación, factor de forma... y ver así la distribución gráfica a lo largo de cada año. A su vez se podrá ver si la temperatura, por ejemplo, sigue una distribución similar cada año o por el contrario se está detectando un cambio con el paso de los años por diversos factores.

Por último se procederá a un estudio final de ambas bases mediante el uso del software iHOGA con el que se realizará una comparativa en la optimización de sistemas híbridos de energías renovables de algunos casos de estudio utilizando las dos bases de datos, viendo las diferencias en cuanto a producción energética y coste utilizando una base de datos o la otra.

# ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	1
1.1	OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO .....	1
1.2	FACTORES METEOROLÓGICOS .....	2
1.3	IRRADIACIÓN Y TEMPERATURA.....	2
1.4	VIENTO .....	3
2.	ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS.....	4
2.1	NASA.....	4
2.2	RENEWABLE NINJA.....	6
3.	ANÁLISIS DE LOS DATOS ESTUDIADOS.....	7
3.1	INTRODUCCIÓN Y DESCARGA DE DATOS. ....	7
3.2	ÁNÁLISIS EN ESPAÑA .....	9
3.2.1	VALORES MEDIOS.....	9
3.2.2	DESVIACIÓN TÍPICA .....	11
3.2.3	FACTOR DE FORMA .....	13
3.2.4	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN .....	14
3.3	ÁNÁLISIS DE BRASIL.....	18
3.3.1	VALORES MEDIOS.....	18
3.3.2	DESVIACIÓN TÍPICA .....	19
3.3.3	FACTOR DE FORMA .....	21
3.3.4	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN .....	21
3.4	RESULTADOS GENERALES.....	23
3.5	OTROS RESULTADOS .....	24
4.	iHOGA.....	25
4.1	INTRODUCCIÓN .....	25
4.2	ZARAGOZA.....	25
4.3	VALENCIA.....	26
4.4	SEVILLA .....	26
4.5	TENERIFE .....	27
4.6	SALAMANCA .....	27
4.7	A CORUÑA .....	27
4.8	BILBAO .....	28
5.	CONCLUSIÓN GENERAL.....	28

BIBLIOGRAFÍA.....	30
ANEXOS .....	32
ANEXO 1. COMPARATIVA NASA FRENTE A NINJA EN EL SOFTWARE iHOGA.....	32
ANEXO 2. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL VIENTO.....	37
ANEXO 3. DISTRIBUCIÓN NORMAL DE LA TEMPERATURA.....	38
ANEXO 4. COMPARATIVA EN EL FACTOR DE ESCALA.....	40
ANEXO 5. MÁXIMOS DIARIOS ANUALES DE LA TEMPERATURA .....	41
ANEXO 6. MÍNIMOS DIARIOS ANUALES DE LA TEMPERATURA .....	43
ANEXO 7. LA NASA Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL .....	44
ANEXO 8. ANÁLISIS MENSUAL DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS.....	45
ANEXO 9. OTROS RESULTADOS .....	77

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El fin de este proyecto es evaluar la eficacia y disparidad entre dos importantes bases de datos internacionales y ver la tendencia que sigue la temperatura, irradiación y viento con el paso de los años en distintos puntos geográficos.

Para ello analizaremos dichos factores meteorológicos realizando cálculos de diferentes parámetros como son desviaciones típicas, medias, máximos y mínimos entre otros, para visualizar el progreso de cada una de ellas desde el año 2012 y por otra parte un análisis comparativo entre la NASA y Ninja de los datos recogidos en cada emplazamiento escogido. También se realizará el estudio comparativo de las metodologías utilizadas por las dos bases de datos, utilizando artículos científicos, en los que se explica cómo funciona cada una de ellas. Por último se utilizará el software iHOGA para realizar optimizaciones de sistemas híbridos de energías renovables utilizando alternativamente las dos bases de datos, viendo las posibles diferencias en los resultados.

El estudio del proyecto se basa en una lista de 16 localidades españolas con las que podremos ver la climatología que abarca nuestro país y ver la base de datos que da unos resultados más cercanos a los predecibles o por el contrario si ambas bases nos aportan datos semejantes. En el transcurso del trabajo hablaremos sobre la metodología usada por cada base para conseguir estos datos y la influencia que recae en el valor de ciertos parámetros.

Cuando se nombra una ciudad en el trabajo hace referencia a la ubicación escogida en el mapa que corresponde a unas coordenadas (latitud/longitud) que se encuentran dentro de la ciudad o muy cercanas a ésta.

Además se hará un pequeño estudio de varias ciudades brasileñas para tener una visión más internacional con cada base. Es por ello que se ha optado en la descarga de datos mediante MERRA-2 y no con CM-SAF SARA ya que se obtienen valores más efectivos a nivel global. Sobre dichas metodologías se hablará a lo largo del trabajo.

El estudio de datos lo dividiremos en cada ciudad con un apunte destacable de cada ciudad en la comparación entre bases y entre años de la irradiación, temperatura y viento.

Finalmente se procederá a obtener conclusiones con los resultados obtenidos en cada uno de los apartados.

## 1.2 FACTORES METEOROLÓGICOS

A lo largo de la historia el hombre ha tenido que hacer uso de numerosos recursos para satisfacer sus necesidades. Podemos clasificar las fuentes de energía de numerosas formas entre la que destacamos en energía no renovable y la renovable o limpia. Respecto a la energía no renovable, los recursos se van agotando además de afectar negativamente en otros aspectos como son el económico y el medioambiental entre otros.

Es por ello el gran auge de la energía renovable colocándose como el tipo de energía más prometedora con su enorme aportación en el desarrollo y conservación del ecosistema. Hoy en día, el ser humano es cada vez más consciente de la situación actual del planeta y de la finitud de los combustibles fósiles y los efectos perjudiciales de estos en el medio ambiente causando problemas como el calentamiento global, por lo que se debería acelerar hacia una transición basada en una economía baja en carbono y medioambientalmente responsable.

Las fuentes renovables son fuentes de energía limpia, autóctonas e inagotables, respetuosas con el medioambiente y más seguras para nuestra salud [1].

Según la Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA), más del 37% de la electricidad en España fue renovable en el 2018 y representa el 13,9% del total de energía primaria colocándose en el tercer lugar tras los productos petrolíferos y el gas natural [2]. Por otra parte, la energía eólica se posiciona como la primera fuente de generación eléctrica en Aragón con un 29% de la producción global en la Comunidad [3].

## 1.3 IRRADIACIÓN Y TEMPERATURA

Se calcula que la cantidad de energía que el sol vierte sobre la Tierra día tras día es diez mil veces mayor que la que se consume diariamente en todo el planeta [4], razón indiscutible para valorar la opción de realizar un aprovechamiento mayor de este recurso en la construcción de nuevas instalaciones fotovoltaicas.

El parámetro más importante para conocer la generación fotovoltaica es la irradiación solar, si bien la temperatura también afecta, aunque en mucha menor medida (los paneles fotovoltaicos disminuyen su potencia generada conforme aumenta la temperatura ambiente).

La forma más habitual en el uso de este recurso natural es la generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, consiguiendo abastecer millones de hogares. Según apunta la NASA, la energía solar perduraría infinitamente ya que al Sol aún le quedan 6.500 millones de años de vida [5].

Su simplicidad en la tecnología y disponibilidad en todo el planeta impulsa a un desarrollo sostenible y generación de empleo en las zonas que se implante.

En el 2018 la potencia instalada fotovoltaica aumentó un 94% con respecto a 2017 pasando de 135 MW a 261,7 MW y en un 145% respecto al 2016 [6]. Bases como las estudiadas ayudan a elegir las zonas apropiadas para instalaciones de este tipo y así aumentar el porcentaje nombrado anteriormente para un futuro mejor.

## 1.4 VIENTO

El viento es uno de los recursos naturales más utilizados actualmente que nos proporciona lo que denominamos como energía eólica. Forma parte de la energía renovable ya que, además de no contaminar la calidad del aire, el movimiento de masas de aire es inagotable dada la dinámica atmosférica planetaria [7].

El viento depende de diversos factores entre los que destacan la situación geográfica, la altura sobre la superficie terrestre, el clima y la forma del terreno local o la propia rotación de la tierra en el conocido efecto Coriolis entre otros [8]. Factores que incumbirán en la recogida de datos y el análisis posterior de estos.

La velocidad del viento está siempre fluctuando, por lo que el contenido energético del viento varía continuamente y es necesario describirlo de forma estadística. La distribución de probabilidad del viento en un emplazamiento típico suele describirse utilizando la llamada Distribución de Weibull, estableciendo un modelo de las frecuencias de las velocidades del viento descrito por una función matemática [9] [10].

Según la AEE, Asociación Empresarial Eólica, con 23.484 MW de potencia acumulada, la energía eólica ha sido la segunda fuente de generación eléctrica en España en 2018. España es el quinto país del mundo por potencia eólica instalada, tras China, Estados Unidos, Alemania e India [11].

En el último año se obtuvieron beneficios medioambientales evitando la emisión de 25M ton de CO<sub>2</sub> y beneficios económicos con un 0,31 de PIB español y un ahorro de 3.540 euros en los consumidores industriales en 2018 [11]. Datos que demuestran la importancia actual del sector eólico en la industria del siglo XXI así como la provechosa repercusión que involucraría el posible desarrollo de nuevas instalaciones en algunos lugares estudiados, con los datos descargados de las dos bases.

## 2. ANÁLISIS DE LAS BASES DE DATOS

### 2.1 NASA

NASA (National Aeronautics and Space Administration) es la agencia gubernamental responsable de los programas espaciales de USA a través de su programa de investigación en ciencias de la Tierra, que proporcionan datos importantes para el estudio del clima y los procesos climáticos.

La NASA cuenta con una serie de instalaciones que comprenden centros de investigación, construcción y comunicación entre los que destacamos la única instalación de la NASA en España situada en Robledo de Chavela y que abarca una parte de la red de investigación del “Espacio Profundo” [12].

Respecto al estudio meteorológico, esta plataforma se apoya en el estudio mediante satélites artificiales como por ejemplo el satélite ‘Aqua’ con el que se ha logrado una importante mejora en la predicción del tiempo a corto plazo. De dicho satélite se usa la Sonda Infrarroja Atmosférica (AIRS) combinado con modelos meteorológicos [13].

El funcionamiento consiste en el uso de globos sonda para la medición de la temperatura, viento, humedad y de la presión del aire, alrededor del mundo y dos veces al día. Esta medición se realiza en la capa más cercana a la superficie terrestre, denominada Troposfera en la que ocurren los fenómenos meteorológicos. Además se realizan medidas en estaciones ubicadas en la superficie y con aviones y radares meteorológicos. Una vez obtenidas las mediciones se emplean modelos de predicción meteorológica [13].

Otro ejemplo destacable es un satélite de nueva generación llamado Sistema de Satélite Polar Conjunto 1 (JPSS-1) que la NASA junto a la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) lanzó al espacio con el objetivo de conseguir informes con los que monitorear el clima alrededor del mundo y mejorar los pronósticos meteorológicos [14].

Dicho satélite se sitúa a 824 kilómetros de altura y orbita 14 veces al día de un polo a otro proporcionando un análisis completo dos veces al día [14].

Tal y como avanzó la NASA: “EL JPSS-1 lleva una serie de instrumentos avanzados diseñados para hacer mediciones globales en las condiciones atmosféricas, terrestres y marítimas, desde las temperaturas en la superficie del mar, cenizas volcánicas, intensidad de los huracanes y muchas más” [14].



Los datos obtenidos, globales y, en general, contiguos en el tiempo, proporcionan estimaciones climatológicas a largo plazo y flujos de energía solar en superficie. Hoy en día se ha demostrado que los datos son lo bastante fiables como para realizar el estudio en regiones de la Tierra donde las mediciones de superficie son escasas o inexistentes como pueden ser países en vías de desarrollo. Es por ello que se ha decidido realizar un pequeño estudio en el siguiente apartado de algunos puntos de Brasil para confirmar dicha afirmación, aparte de las ciudades peninsulares.

A lo largo de la historia, la NASA ha hecho uso de diferentes fuentes mejorando con el paso de los años la capacidad de recopilación de datos y la fiabilidad en ellos. Una parte de la NASA conocida como GMAO, Oficina Global de Modelado y Asimilación, tiene el objetivo principal en el análisis a largo plazo basado en modelos múltiples de conjuntos de datos con un sistema de asimilación fija [15].

Actualmente, la NASA realiza actividades de investigación y desarrollo con el fin de realizar un análisis de la tierra, atmósfera, océano y hielo lo más efectivo posible [15]. Cada fuente abarca una cobertura temporal en la que recogía distintos parámetros meteorológicos. Algunas de estas fuentes han sido GEWEX SRB 3.0, FLASHFlux Version 2(D,E,G,H), FLASHFlux Version 3 (A,B,C), MERRA-2 y GEOS 5.12.4 [16]. De las que destacamos las dos últimas correspondientes a las más actuales y las que han conseguido un abanico de datos meteorológicos más amplio.

En primer lugar está GEOS, cuya última versión actualizada por GMAO corresponde a la 5.12.4 que cuenta con actualizaciones significativas por lo que se planificó el reprocesamiento de los datos obtenidos por la versión más vieja. Utiliza el mismo sistema para generar los conjuntos de datos de reanálisis MERRA-2, que se lanzaron en Enero de 2016 para acceso público. Los datos de GEOS FP-IT difieren de MERRA-2 de dos maneras: algunas de las observaciones asimiladas en MERRA-2 no están incluidas en GEOS FP-IT y las colecciones de datos de salida están personalizadas para los usuarios de los productos [16].

A su vez, MEERA-2 es una actualización de MERRA, que se define como el conjunto de datos de análisis retrospectivo de la era moderna para investigación y aplicaciones que se lanzó en 2009. Consiste en una versión del sistema de asimilación de datos atmosféricos GEOS-5. Los datos de MERRA abarcan el periodo de 1979 hasta febrero de 2016. MERRA se usó para conducir reanálisis independientes de la superficie terrestre (MERRA-Land) y aerosoles atmosféricos (MERRAero) [17].

La base contaba inicialmente con una resolución espacial de los datos solares en una cuadrícula de 1° de latitud/longitud y posteriormente se redirigieron a celdas de 0,5° de latitud y longitud. Respecto a los datos meteorológicos comenzaron con una cuadrícula de 1/2° x 2/3° pero luego se interpola bilinealmente a una cuadrícula global de 0,5° [18].

A parte de la resolución espacial tenemos la temporal de datos solares en la cual inicialmente se produce en incrementos de 3 horas que se promedian para

proporcionar valores diarios. Estos valores promediados diarios se utilizan para calcular los valores mensuales promediados [19].

Respecto a los datos meteorológicos temporales inicialmente se realizan en incrementos de tiempo de 1 hora que se promedian a los valores diarios proporcionados. Los valores promediados diarios se utilizan para los valores mensuales promediados [19].

## 2.2 RENEWABLE NINJA

La base de datos Ninja trabaja por su parte con datos meteorológicos de modelos de reanálisis globales y observaciones satelitales. Las dos bases en las que se fundamenta son la nombrada anteriormente como MERRA-2 y el conjunto de datos SARA-H de CM-SAF. Se utiliza el modelo GSEE (Global Solar Energy Estimator) de Stefan Pfenninger para convertir los datos de irradiación solar en salida de potencia. Las velocidades del viento se convierten en potencia con el modelo VWF (Virtual Wind Farm) desarrollado por Iain Staffell [20].

Por un lado el conjunto de datos SARA-H representa la climatología basada en satélites de la irradiación de la superficie solar, la irradiación normalizada directa de la superficie y el albedo de nubes efectivo derivado de las observaciones satelitales de los canales visibles de los instrumentos MVIRI y SEVIRI con el geoestacionario Meteosat satélites [21], instrumentos que generan imágenes visibles e infrarrojo mejorado que abarcan un periodo temporal de datos mucho mayor llegando los 32 años desde 1982 hasta 2014 [22], similar al de los reanálisis modernos.

El conjunto de datos de radiación solar de superficie (SARA-H) cubren en su mayoría Europa y su resolución espacial es considerablemente más alta que la de MERRA con una cuadrícula regular de latitud/longitud de  $0,05^\circ \times 0,05^\circ$  y en intervalos de tiempo por hora [21].

Sin embargo, a la hora de descargar los datos de Ninja se ha optado por el conjunto de datos de análisis MERRA en su versión actualizada y mejorada llamada MERRA-2. MERRA-2 es el primer reanálisis global a largo plazo que asimila observaciones espaciales de aerosoles y representa sus interacciones con otros procesos físicos en el sistema climático. Por último se incluye una representación de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida [23].

Con MERRA-2 se consigue una mejora con la inclusión de observaciones de aerosoles basadas en el espacio lo que podría predecir una mayor precisión con el fin de modelar la energía solar. Una gran ventaja es que con MERRA y MERRA-2 se obtienen intervalos

de una hora y su resolución espacial es  $1/2^\circ$  de latitud por  $2/3^\circ$  de longitud, lo que se traduce en aproximadamente 50 x 50 km a través de Europa [23].

Para concluir se muestra una tabla resumen de los tres factores más relevantes de cada base que influirán en la descarga de datos y la diferencia entre ellos.

	NASA	NINJA
<b>CONJUNTO DE DATOS</b>	MERRA-2   GEOS 5.12.4	MERRA-2   CM-SAF SARA
<b>RANGO TEMPORAL</b>	DIARIO	HORARIO
<b>CUADRÍCULA REGULAR</b>	$0,5^\circ \times 0,5^\circ$	$1/2^\circ \times 2/3^\circ$   $0,05^\circ \times 0,05^\circ$

Tabla 1. Resumen comparativo de los factores más relevantes.

### 3. ANÁLISIS DE LOS DATOS ESTUDIADOS.

#### 3.1 INTRODUCCIÓN Y DESCARGA DE DATOS.

Uno de los objetivos principales del proyecto es el análisis de los datos proporcionados por cada una de las bases para ver así la semejanza o diferencia que hay entre Ninja y NASA y ver la progresión de la temperatura, irradiación y viento en distintos puntos geográficos en el paso de los años y visualizar los posibles cambios en la climatología en el planeta por diversos factores como puede ser el calentamiento global.

El trabajo se centra en ciudades españolas aunque también se ha optado por un pequeño estudio de Brasil para ver el alcance que tienen las bases y su efectividad fuera de Europa.

El estudio se ha realizado de la temperatura, irradiación y viento por años desde 2012 hasta el 2018 con ambas bases de 16 ciudades de la península ibérica y 5 ciudades brasileñas. Las unidades de los datos descargados son: Temperatura ( $^\circ\text{C}$ ), viento (m/s), irradiación Ninja ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{hora}$ ) y irradiación NASA ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ ).

A la hora de la descarga de datos de la página de Ninja [24], se ha optado por una serie de condiciones:

- MERRA-2, ya que aunque con CM-SAF SARA se podría obtener unos resultados con mayor calidad al tener una cuadrícula más reducida, con MERRA-2 podemos tener una cobertura global a diferencia de la europea por parte de CM-SAF SARA y así conseguir el estudio de Brasil. Por lo tanto todos los resultados mostrados posteriormente se calcularán con MERRA-2.

- Capacidad del generador fotovoltaico de 1 kW, pérdida del sistema de 0 con una inclinación del panel de 0° respecto de la horizontal por lo que estaría colocado horizontalmente.
- El azimuth con 180° que significa orientado hacia el polo por lo que si las latitudes de las localizaciones estudiadas son mayores o igual a 0 se interpretaría como orientado hacia el sur y de lo contrario hacia el norte.
- Por último 10 metros de altura en el viento.

En la descarga de la NASA tomamos los siguientes parámetros, semejantes a los de Ninja para su comparación posterior [25]:

- Meteorología relacionada con la temperatura: Temperatura a 2 metros.
- Meteorología relacionada con el viento: Velocidad del viento a 10 metros.
- Todo el incidente de insolación del cielo en una superficie horizontal.
- Paneles solares inclinados: Índice de claridad de aislamiento.

Con los datos conseguidos se ha realizado un análisis mediante el cálculo de diferentes parámetros que puedan proporcionar la máxima información relevante. Por un lado obtenemos en cada una de las descargas los valores de temperatura, irradiación y viento recogidos por cada base en el año correspondiente. Como se ha nombrado anteriormente en Ninja se obtienen de forma horaria y con la NASA de forma diaria. Esto nos lleva al primer cálculo de parámetros en el que se ha realizado una media diaria en los valores de la primera base para temperatura y viento y una suma diaria de la irradiación para poder trabajar con las dos bases en un formato temporal similar y una vez hecho esto, el cálculo de una media semanal, mensual y anual para todos los años de cada ciudad para temperatura y viento así como la suma semanal, mensual y anual de la irradiación.

Un segundo cálculo ha sido el valor máximo y mínimo mensual y anual de la temperatura y viento a la par que la desviación típica mensual y anual de cada una de las variables meteorológicas.

Respecto al viento se ha hecho un análisis más específico de éste con el cálculo de unos factores representativos como son el factor de forma y el factor de escala de la distribución de probabilidad tipo Weibull que suele seguir la velocidad del viento.

Por último se ha optado por el análisis de la correlación lineal mediante el factor de correlación en temperatura, irradiación y viento. Para todos los parámetros nombrados hasta el momento se irá explicando el proceso que se ha llevado a cabo en las siguientes secciones.

Es importante recordar que los datos obtenidos en NASA son diarios mientras que los descargados por Ninja son horarios, hecho que podría comenzar a influir en la

diferencia de los valores diarios por cada base. También recordar que, según las cuadrículas (latitud/longitud) usadas por cada base en la obtención de datos (NASA: 0,5° x 0,5° y Ninja: 0,5° x 0,66°), lo esperado sería que NASA tuviera mayor precisión y que sus valores fueran los más exactos.

Una vez realizado el cálculo de todos los parámetros se ha optado por mostrar los resultados gráficos más llamativos y relevantes en las diferencias entre las dos bases, objetivo de dicho proyecto. Para ello se representa en todas las gráficas el valor del siguiente cálculo:

$$x (\%) = \frac{NASA - NINJA}{NINJA} \cdot 100$$

Donde NASA o Ninja corresponden al valor medio anual del parámetro meteorológico en estudio calculado con los datos de cada base. De esta forma estaremos representando el valor de la NASA respecto al de Ninja, en tanto por ciento. Valores positivos significarán que el valor de la NASA es superior al de Ninja en ese porcentaje, mientras que valores negativos significarán que el valor de la NASA es inferior al de Ninja en ese porcentaje.

## 3.2 ANÁLISIS EN ESPAÑA

### 3.2.1 VALORES MEDIOS

Los datos usados son los valores horarios de Ninja y los datos diarios de Nasa calculando su promedio anual de temperatura y viento.

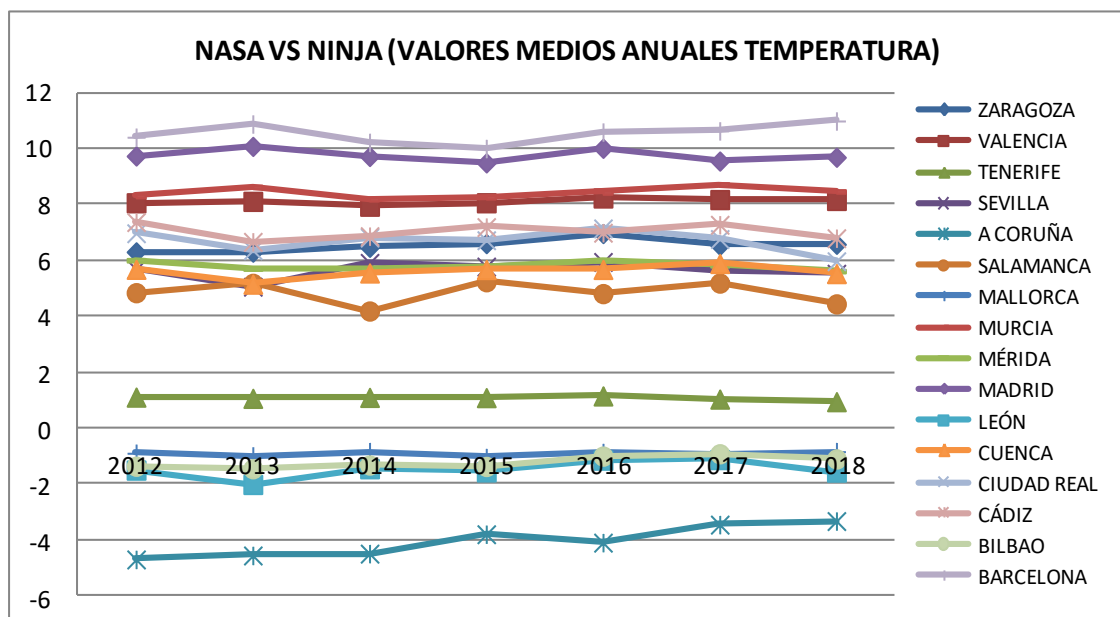


Figura 1. Diferencia en los valores anuales medios de temperatura, NASA frente a Ninja (%)

Se observan unas diferencias entre las bases no muy grandes, siendo máximas en Barcelona con una media del 10,5% de diferencia. Únicamente se sitúan 4 de las 16 ciudades por debajo del eje de abscisas por lo que se puede concluir que la NASA proporciona en general valores superiores a Ninja en temperatura.

Respecto a la irradiación se procede de forma similar pero con la suma anual.

Para la siguiente gráfica, perteneciente a la irradiación, se ha realizado la suma diaria de los datos de Ninja para tener en ambas bases la misma unidad (kWh/m<sup>2</sup>/día) y una vez realizados estos cálculos, se ha llevado a cabo para ambas bases de datos la suma anual y posteriormente la diferencia entre las dos bases de datos como se muestra a continuación.

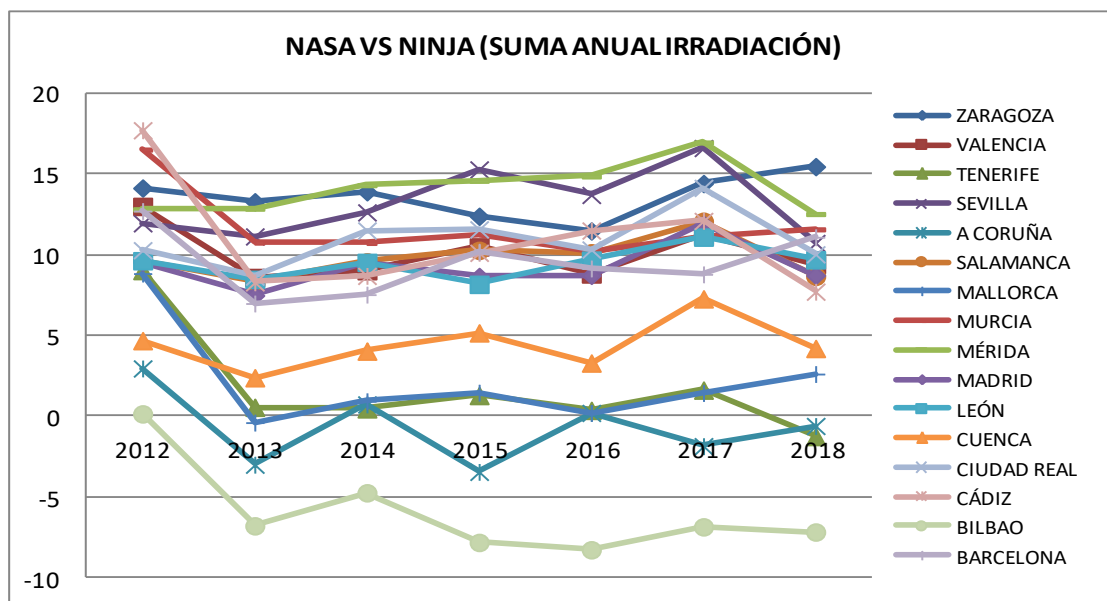


Figura 2. Diferencia en la suma anual media de irradiación, NASA frente a Ninja (%)

Al igual que en la temperatura, NASA da en la mayoría de los casos valores superiores a Ninja. Un detalle puntual es el año 2012 en el que se da en parte de las ciudades la mayor diferencia entre las bases aunque como se puede ver, la diferencia entre ellas no es muy grande en ninguno de los casos.

En la gráfica siguiente se trabaja con los valores medios del viento. En todas las ciudades Ninja da valores superiores a NASA y además en la totalidad de años respecto a cada ciudad, obteniendo todos los resultados con una diferencia no muy grande por debajo del eje de abscisas.

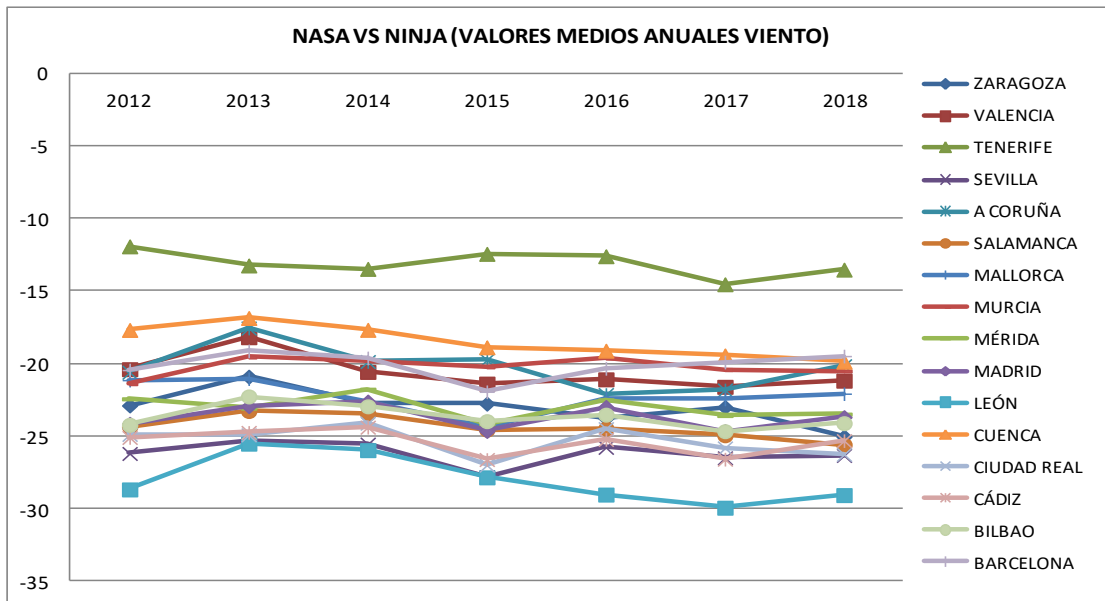


Figura 3. Diferencia en los valores anuales medios de viento, NASA frente a Ninja (%)

### 3.2.2 DESVIACIÓN TÍPICA

A continuación se procede a realizar el mismo estudio diferencial anterior pero con la desviación típica anual calculada de la temperatura, irradiación y viento.

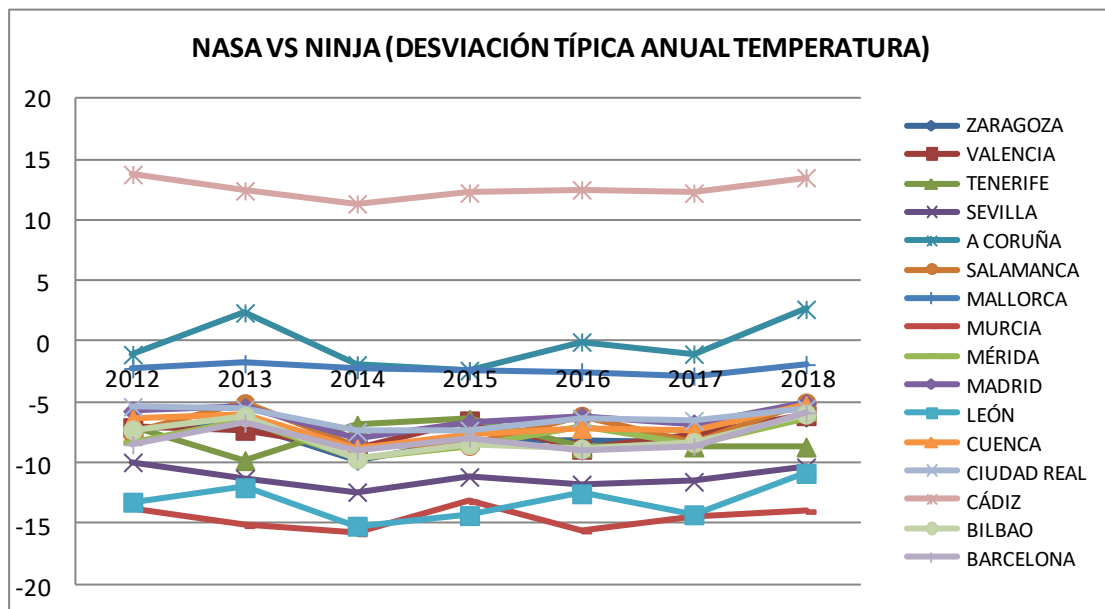


Figura 4. Diferencia en la desviación típica anual de temperatura, NASA frente a Ninja (%)

A diferencia de los valores medios anuales de temperatura, la desviación típica anual recogida es mayor en Ninja que en NASA excepto para la ciudad de Cádiz y dos años de A Coruña.

En el siguiente gráfico, se ve el mismo estudio anterior pero para la desviación típica de irradiación. Para los datos a colocar en él es importante tener en cuenta las unidades de la irradiación ya que como se ha mencionado anteriormente las unidades de la irradiación recogida por cada base son distintas ya que en NASA son diarias y en Ninja son horarios. Para ello calculamos la desviación típica a partir de la media diaria calculada en Ninja.

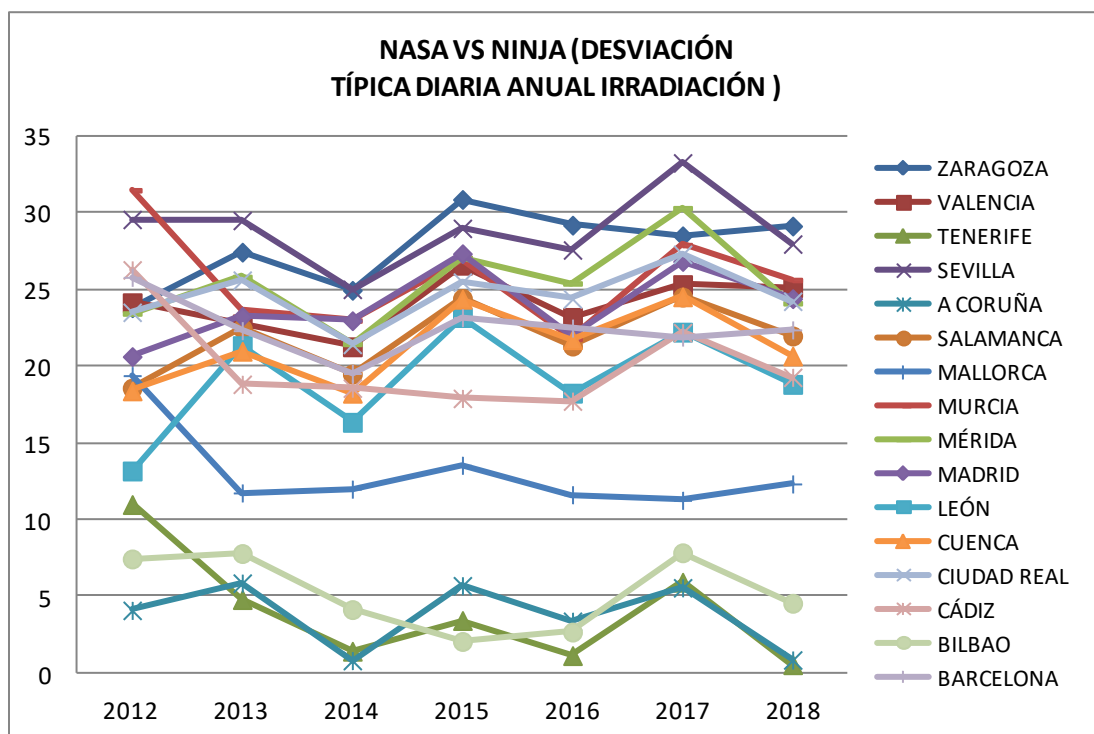


Figura 5. Diferencia en la desviación típica diaria anual de irradiación, NASA frente a Ninja (%)

En esta ocasión NASA consigue valores mayores en la totalidad de las ciudades llegando a rangos en los que la diferencia llega a ser algo superior a los estudios anteriores con resultados cercanos a 30%.

Respecto a la desviación típica del viento, únicamente 4 ciudades se sitúan por encima de diferencia 0% por lo que predominan las ciudades con valores inferiores en NASA en la desviación típica del viento calculada.



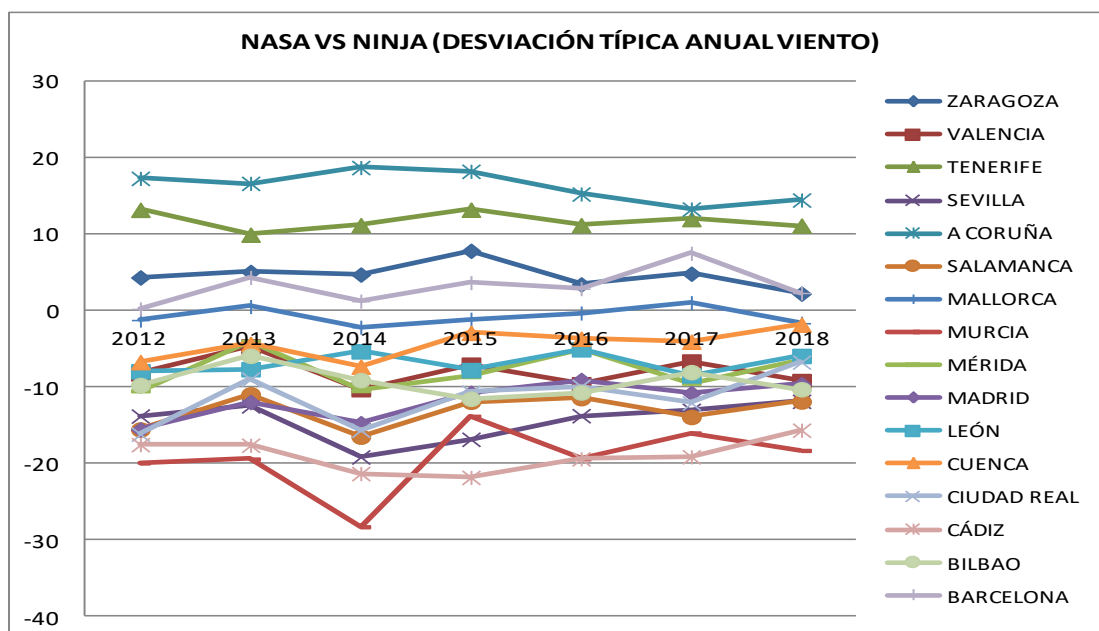


Figura 6. Diferencia en la desviación típica anual de viento, NASA frente a Ninja (%)

### 3.2.3 FACTOR DE FORMA

En el estudio del viento se ha calculado tanto el factor de forma (k) como el factor de escala (c) que caracterizan dicho factor meteorológico.

El factor de forma representa el rango de variación de la velocidad del viento durante un período de tiempo y se ha calculado en función de la media ( $\bar{v}$ ) y la desviación típica de la velocidad del viento ( $\sigma_u$ ) y posteriormente el factor de escala mediante las siguientes ecuaciones:

$$k = \left( \frac{\sigma_u}{\bar{v}} \right)^{-1.086} \quad c = \bar{v} (0.568 + 0.433/k)^{-1/k}$$

Como se puede observar en la figura 7, NASA obtiene valores menores para todas las ciudades llegando a ser hasta un 34% inferior que Ninja en A Coruña.

Destacar que aunque Valencia se sitúa como la ciudad que menos diferencia tiene entre las bases con un par de años con una diferencia prácticamente despreciable, el año 2014 recoge una anomalía al ser el único año de entre todos los estudiados y de todas las ciudades que NASA supera a Ninja.

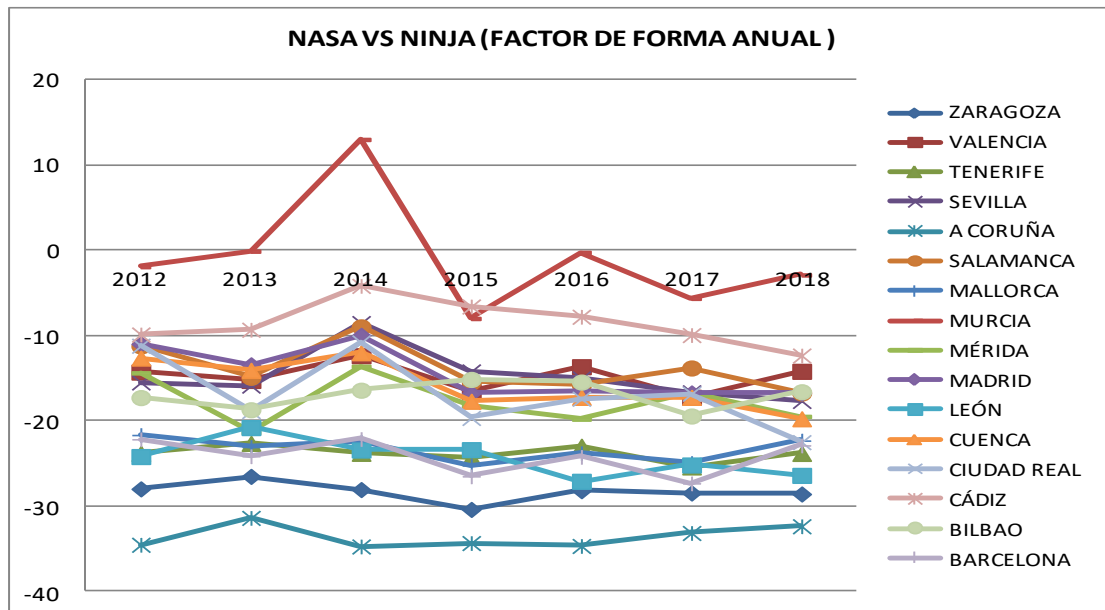


Figura 7. Diferencia en el factor de forma anual de viento, NASA frente a Ninja (%)

### 3.2.4 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

Mediante este parámetro se ha querido estudiar la relación lineal de los valores de temperatura, irradiación y viento e identificar la dispersión de los puntos que representan una base de datos frente a la otra.

Tanto para temperatura como irradiación se obtiene una relación lineal fuerte. Sin embargo el viento nos da una relación débil.

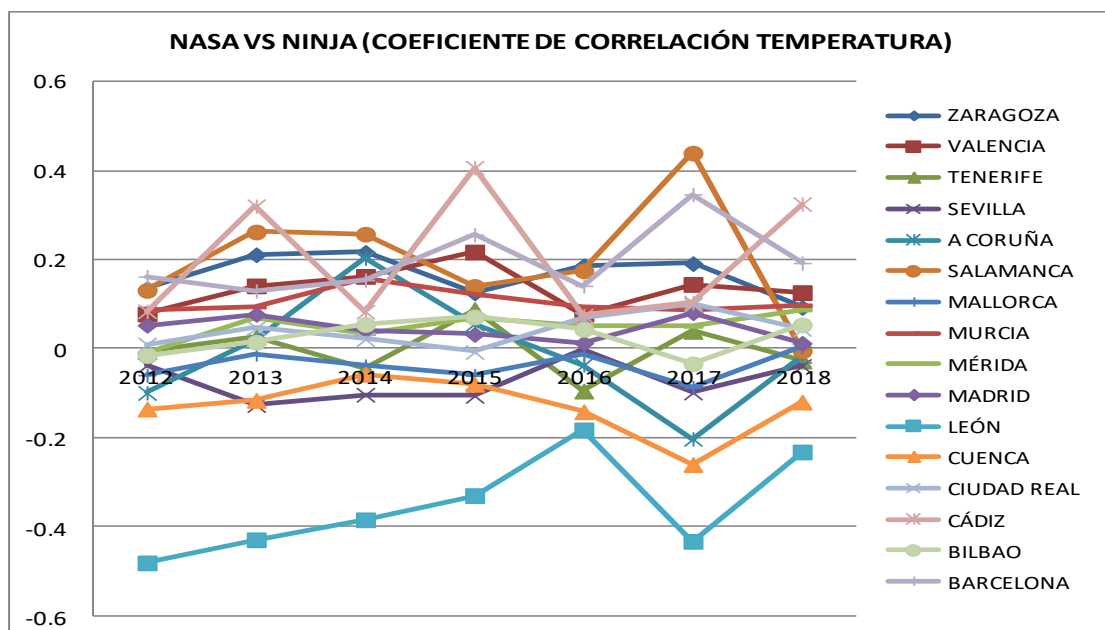


Figura 8. Diferencia en el coeficiente de correlación en temperatura, NASA frente a Ninja (%)

Este análisis comparativo se calcula comparando dos series temporales pertenecientes a cada una de las bases ayudándonos del comando de Excel de coeficiente de correlación.

Como se puede ver la máxima diferencia no llega al 0,5% siendo prácticamente despreciable respecto a las diferencias de los apartados anteriores. En este caso hay mayor paridad en la base que alcanza mayores valores aunque destaque NASA frente a Ninja.

Por lo tanto, respecto a los picos que pueden llevar a confusión sobre una posible diferencia abultada de una de las bases sobre la otra, no se les debe dar mayor importancia ya que en realidad nos representan diferencias menores al 1 %.

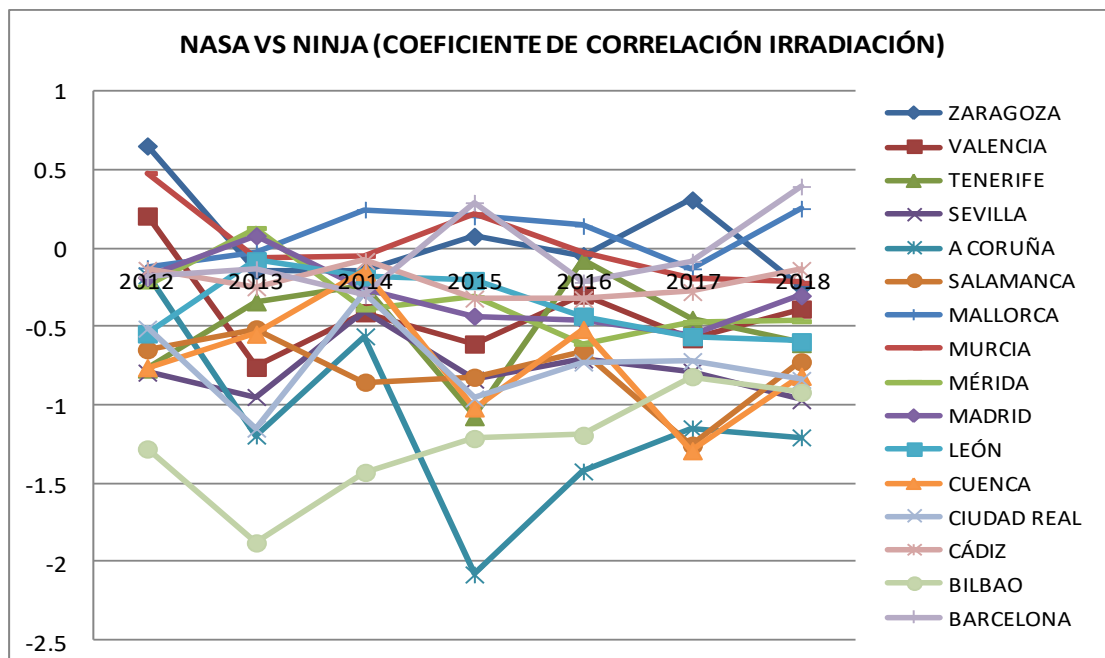


Figura 9. Diferencia en el coeficiente de correlación en irradiación, NASA frente a Ninja (%)

Resultado obtenido como el anterior aunque con las sumas mensuales para el cálculo del coeficiente de correlación y que es prácticamente similar al anterior con diferencias muy bajas aunque con predominio en Ninja con valores superiores.

Nombrar que a pesar de no obtener en ningún momento la misma diferencia entre las bases de datos, el coeficiente de correlación de la irradiación junto con el de la temperatura son el primer caso en el que se podría hablar de igualdad en valores.

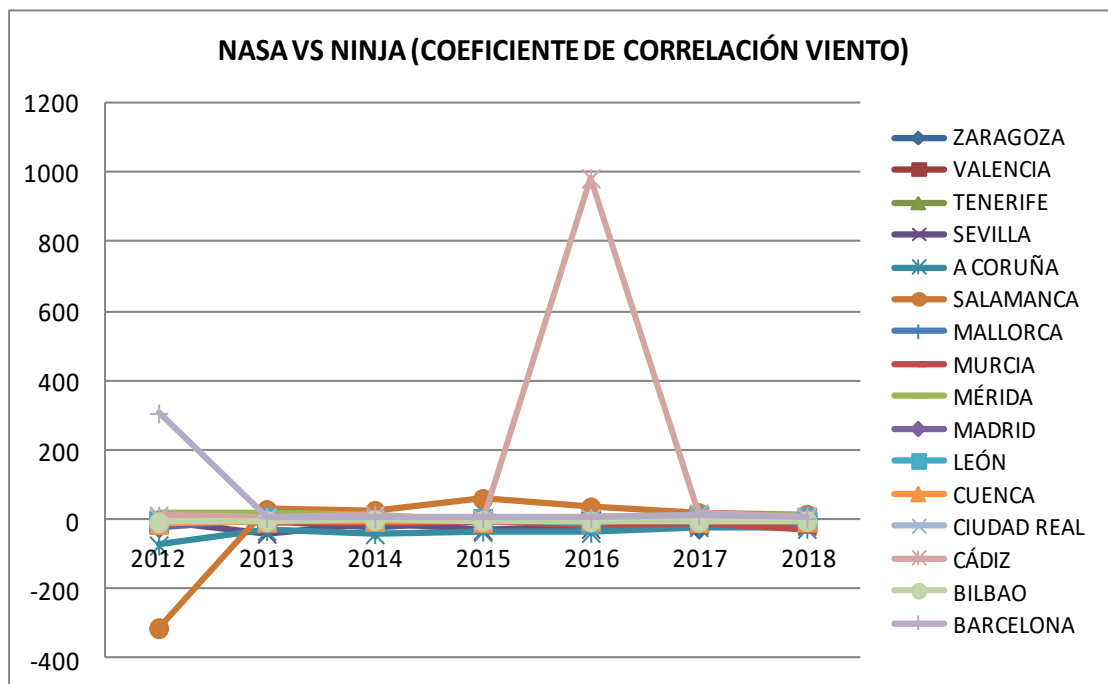


Figura 10. Diferencia en el coeficiente de correlación en viento, NASA frente a Ninja (%)

Esta gráfica es un estudio similar al de la figura 9 pero con los valores del viento. Como se puede distinguir existen 3 anomalías en 3 ciudades distintas ya que los coeficientes de correlación calculados en ese año son de un orden muy inferior al del resto.

Pese a varios intentos en la comprobación de algún posible fallo en el cálculo del coeficiente, se ha comprobado que no lo hay y que las anomalías en el coeficiente de correlación provienen de Ninja en los 3 casos.

Para poder visualizar bien los resultados se proporciona la siguiente gráfica que es la misma a la anterior omitiendo las anomalías nombradas.

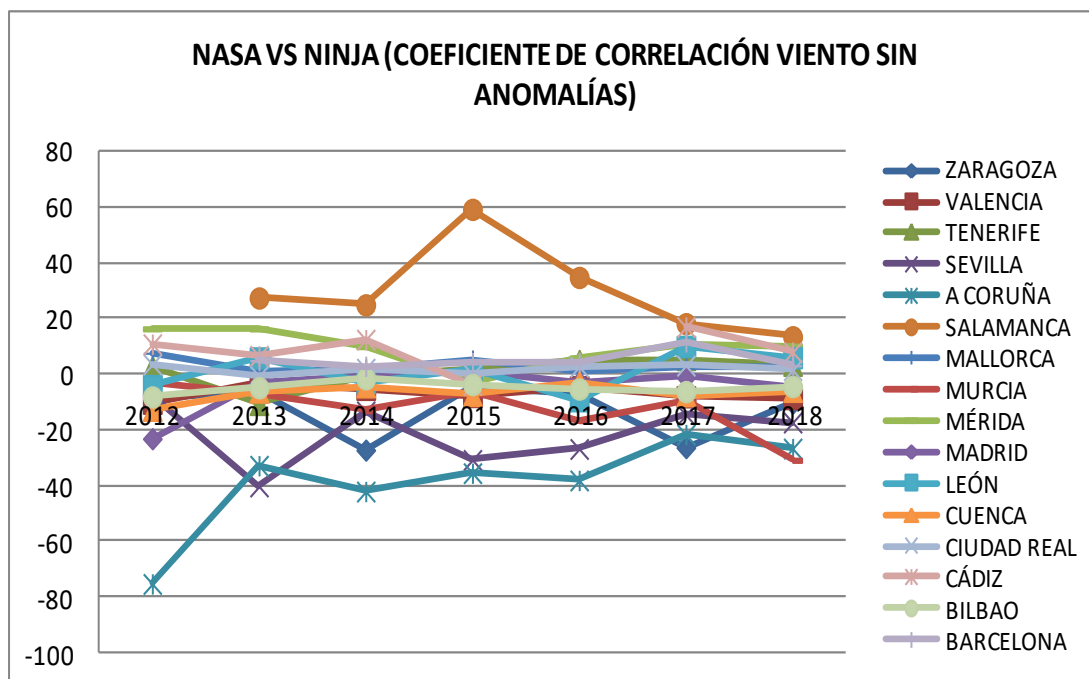


Figura 11. Diferencia en el coeficiente de correlación en viento sin anomalías, NASA frente a Ninja (%)

Como se ha comentado anteriormente el viento obtiene coeficientes de correlación que nos avisan de una relación lineal débil ya que es un factor meteorológico que es función de muchos parámetros y que es más impredecible. El coeficiente de correlación es mucho más variable, posible causa del rango más amplio en diferencias.

En los resultados se visualiza esas diferencias que no tienen nada que ver respecto a los otros dos coeficientes de correlación trabajados. Prácticamente igualdad en las ciudades con valores superiores tanto para NASA como para Ninja.

En un primer análisis general se podría decir que no hay una base de datos que nos proporcione valores superiores para temperatura, irradiación y viento a la vez. Incluso hay casos que para un parámetro en particular encontramos ciudades con superioridad en NASA y otras con superioridad en Ninja.

Además, se ha dado algún caso de alguna ciudad que para un parámetro analizado pueda obtener diferencias positivas para unos años y negativas para otros, es decir con valores de una base de datos tanto inferiores como superiores respecto a la otra.

### 3.3 ANÁLISIS DE BRASIL

De la misma manera que Brasil se procede al análisis comparativo en Brasil.

#### 3.3.1 VALORES MEDIOS

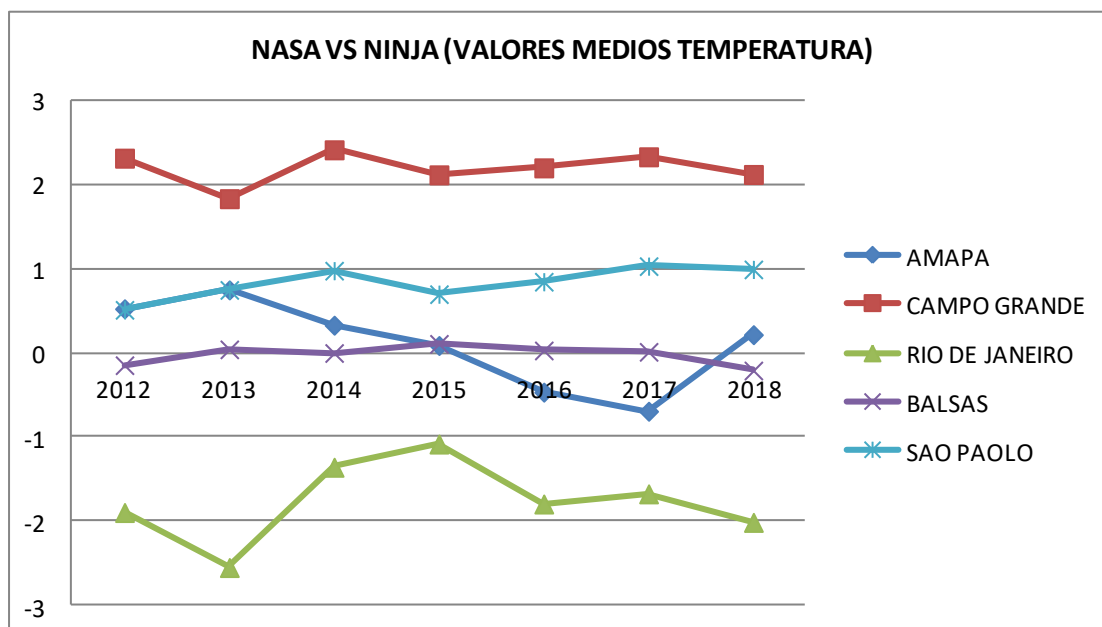


Figura 12. Diferencia en los valores anuales medios de temperatura, NASA frente a Ninja (%)

En este caso diferencias menores a los emplazamientos en España. Ambos casos en el predominio de las bases tratadas.

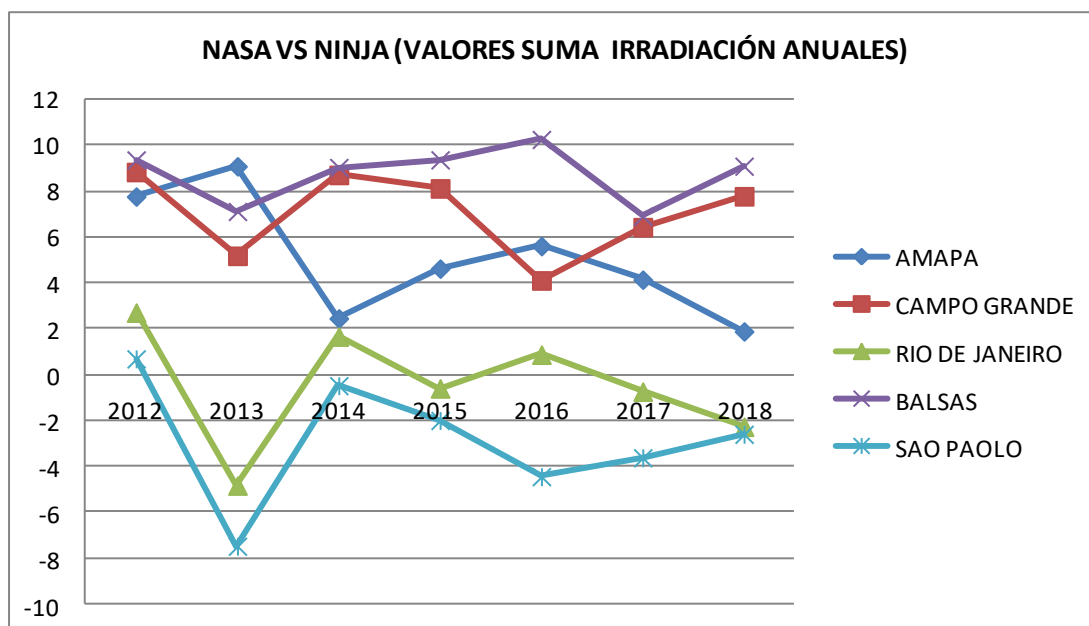


Figura 13. Diferencia en la suma anual media de irradiación, NASA frente a Ninja (%)

De nuevo la NASA da sumas en la irradiación mayores en general respecto a Ninja. El rango de diferencias y el valor de éstas es menor al de España.

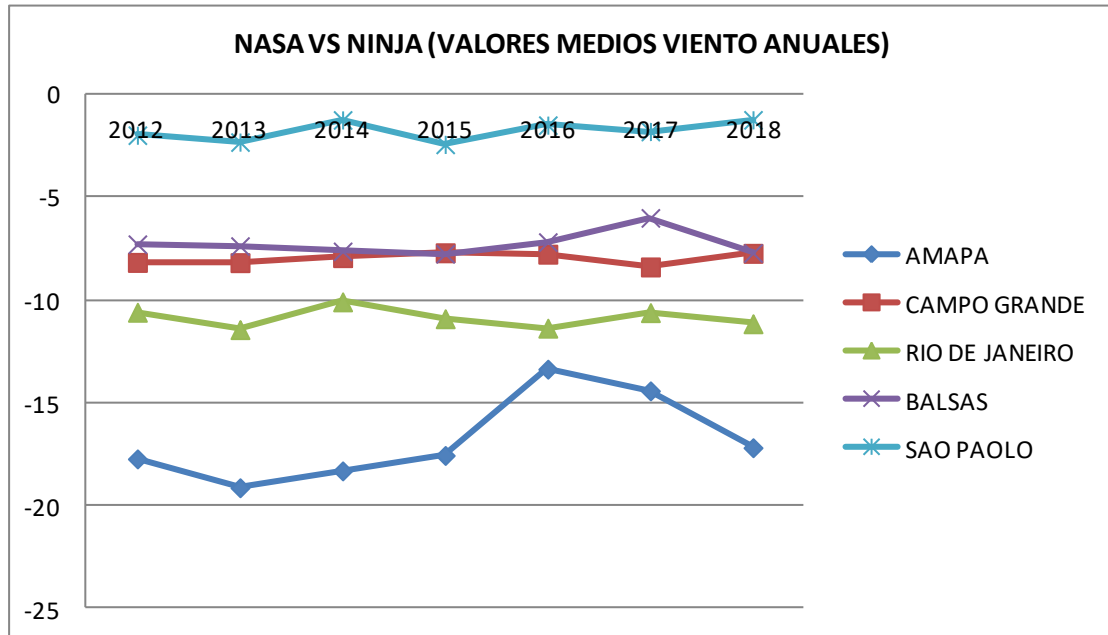


Figura 14. Diferencia en los valores anuales medios de viento, NASA frente a Ninja (%)

Resultados similares a los de la gráfica correspondiente a España con diferencias no muy altas y negativas al ser mayores los valores medios calculados en Ninja que en NASA.

### 3.3.2 DESVIACIÓN TÍPICA

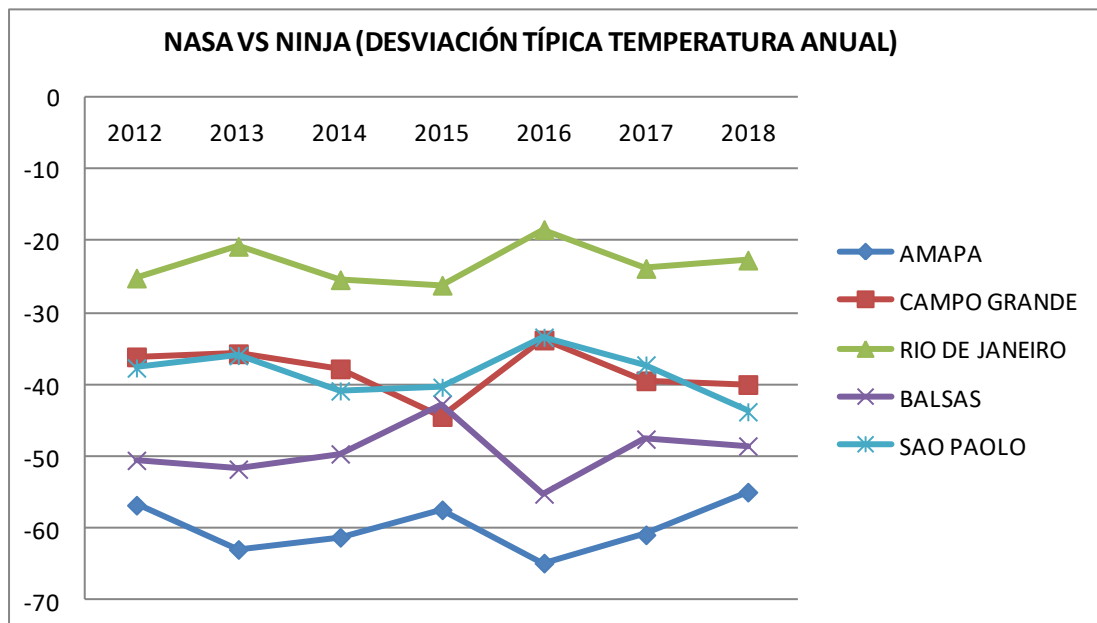


Figura 15. Diferencia en la desviación típica anual de temperatura, NASA frente a Ninja (%)

Los resultados reafirman que Ninja es la base que nos da valores de temperatura con los que su desviación típica es mayor que la de NASA en todas las localizaciones.

Por el contrario las diferencias entre las bases son mucho mayores que en la península ibérica con valores de hasta un 65% en Amapa.

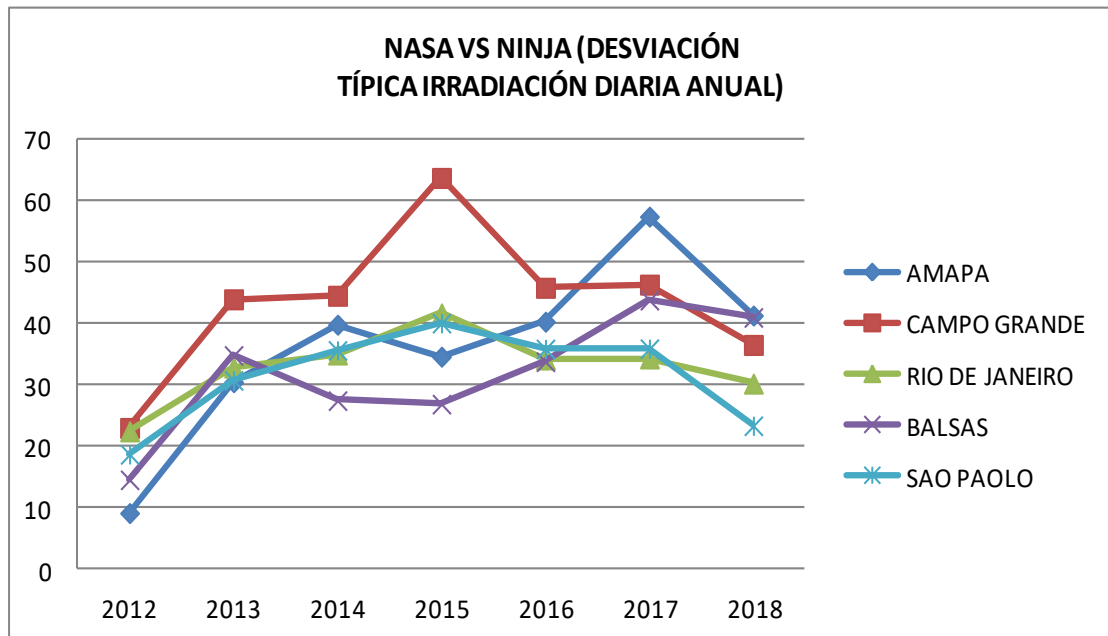


Figura 16. Diferencia en la desviación típica diaria anual de irradiación, NASA frente a Ninja (%)

Los valores de NASA en desviación típica de la irradiación, al igual que antes, son mayores a los de Ninja con diferencias superiores en Brasil.

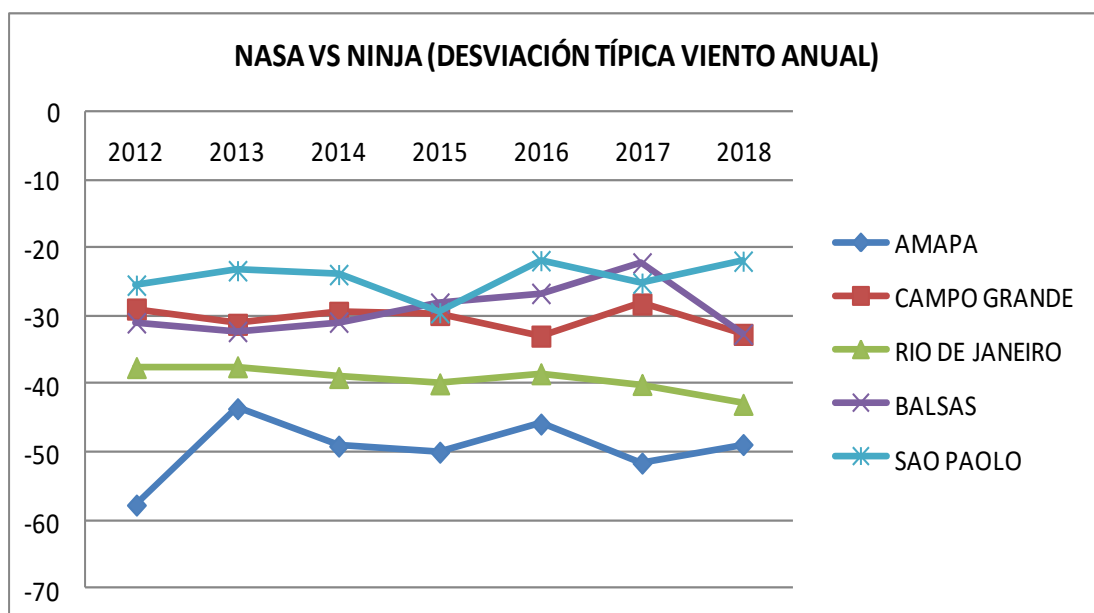


Figura 17. Diferencia en la desviación típica anual de viento, NASA frente a Ninja (%)



Ninguna ciudad se coloca por encima del eje de abscisas por lo que Ninja obtiene valores de desviación típica en el viento mayores que NASA. Diferencias superiores a las de España.

### 3.3.3 FACTOR DE FORMA

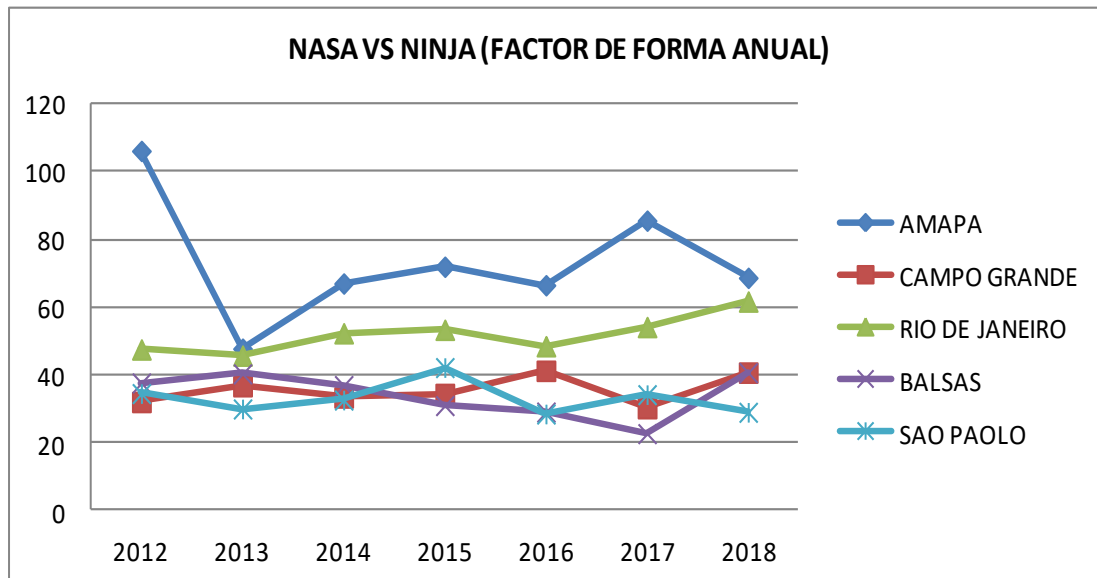


Figura 18. Diferencia en el factor de forma anual de viento, NASA frente a Ninja (%)

A diferencia que en España, el factor de forma es mucho mayor en la NASA que en Ninja para todas las localizaciones.

### 3.3.4 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

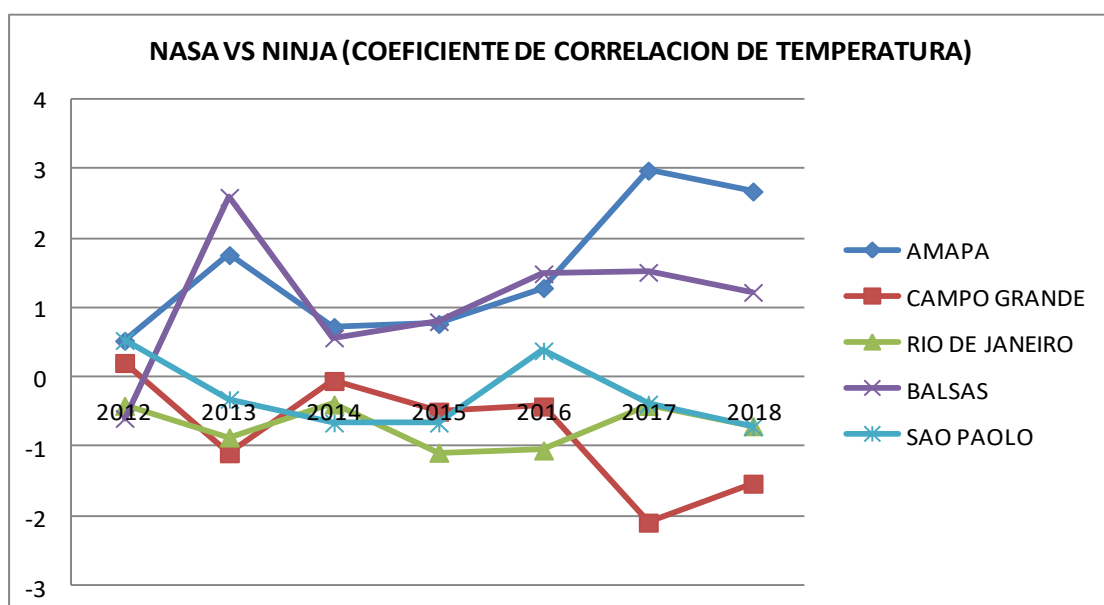


Figura 19. Diferencia en el coeficiente de correlación en temperatura, NASA frente a Ninja (%)

Paridad en la base que proporciona valores superiores ya que son muy parecidos entre ellos consiguiendo unas diferencias muy pequeñas.

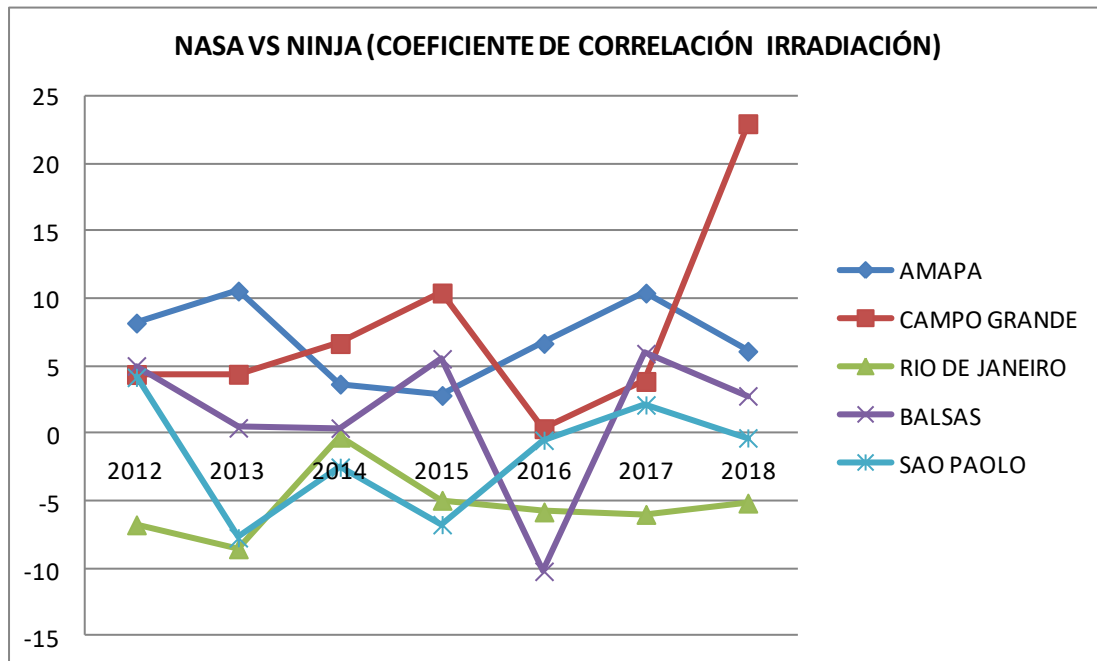


Figura 20. Diferencia en el coeficiente de correlación en irradiación, NASA frente a Ninja (%)

Diferencias mucho mayores que en las ubicaciones españolas. NASA da por lo general mayores que Ninja.

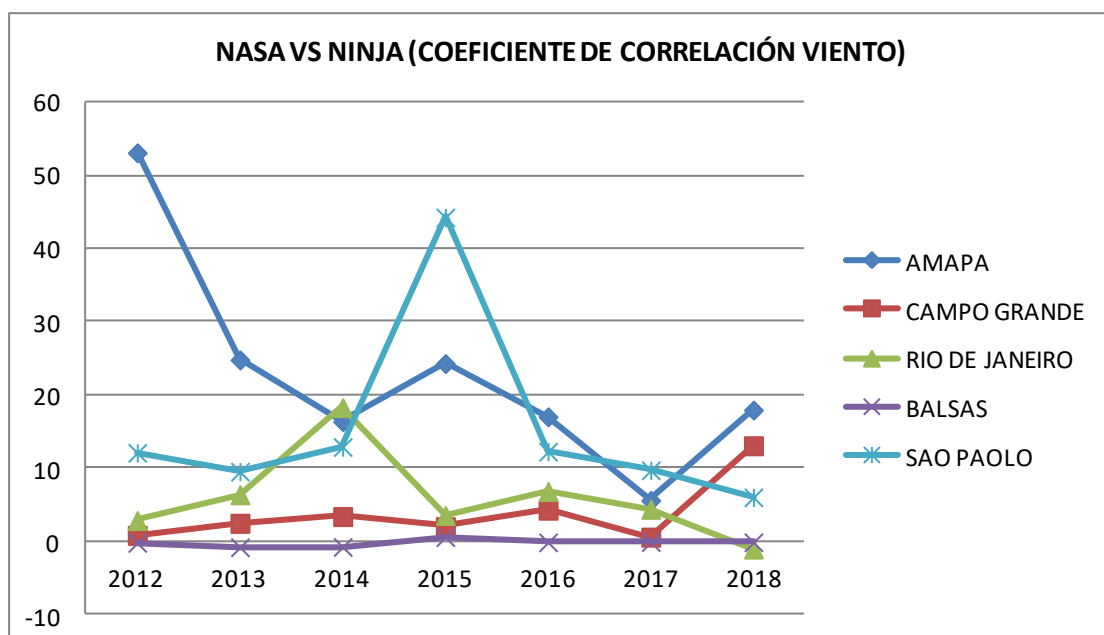


Figura 21. Diferencia en el coeficiente de correlación en viento, NASA frente a Ninja (%)

Valores superiores en NASA con algunas anomalías como ocurre en España.

### 3.4 RESULTADOS GENERALES

Tras este análisis comparativo de las dos bases se puede sacar una serie de conclusiones respecto a sus datos recogidos.

Antes de ello es importante recordar una vez más que la forma de obtener los valores de temperatura, irradiación y viento es distinta. NASA lo realiza en cuadrículas de latitud/longitud de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  una vez interpolado y Ninja de  $0,5^\circ \times 0,66^\circ$  a través de MERRA-2 por lo que la precisión en NASA es mayor en un principio. También las diferencias pueden venir del rango temporal de los datos ya que al ser en Ninja horarios y en la NASA diarios se podrían desviar un poco del valor correcto.

Por lo general la temperatura recogida por la NASA es mayor a la de Ninja al igual que la irradiación con muy pocas ciudades que digan lo contrario.

Ninja supera a NASA en los valores medios de viento y en valores superiores de desviación típica de la temperatura, es decir, que Ninja recoge datos que se extienden sobre un rango de valores más amplio.

NASA por el contrario recoge valores más agrupados respecto a su media en viento siendo así superior la desviación típica de Ninja. En este aspecto en función de la irradiación, NASA supera a Ninja en la desviación típica.

El factor de forma calculado para el viento es el primer caso de desigualdad respecto a los países. España posee valores inferiores en NASA y Brasil en Ninja.

En el coeficiente de correlación de la temperatura, por lo general, la NASA consigue valores superiores mientras que es Ninja quien gana respecto al coeficiente de la irradiación de forma contundente.

En España se puede encontrar ciudades tanto para NASA como para Ninja respecto al coeficiente de correlación del viento aunque en Brasil hay superioridad abultada en valores provenientes de la NASA.

Las diferencias obtenidas en Brasil son mayores en la mayoría de los casos respecto a España en todos los estudios realizados por lo que los datos recogidos en esta región podrían ser menos fiables que en Europa.

Aunque Ninja proporciona datos horarios (más precisos temporalmente que los diarios descargados a través de NASA), la NASA resuelve en cuadrículas finales de terrenos más reducidas por lo que damos más peso a este último factor en exactitud. Es por ello que la mayor parte de las anomalías que han aparecido en las gráficas se deben a datos provenientes de Ninja, como es el caso del coeficiente de correlación del viento en España.

Respecto a los valores medios, la temperatura es el factor meteorológico que más se parece entre bases mientras que el viento puede llegar a diferencias de hasta un 30 % de superioridad en Ninja.

En desviación típica ocurre lo mismo respecto a la temperatura mientras que la irradiación representa la gráfica en desviaciones rondando los 30 % de diferencia en gran parte de las ciudades.

Por último, el coeficiente de correlación es el parámetro que consigue una diferencia mínima tanto para temperatura como para irradiación. Sin embargo, el viento se aleja más del valor 0 %.

En rangos generales, Brasil recoge resultados parecidos aunque con diferencias mayores.

### **3.5 OTROS RESULTADOS**

En los anexos correspondientes al proyecto se ha realizado otros análisis comparativos entre las dos bases de datos de las ciudades en función de otros parámetros característicos de los que se pueden extraer una serie de conclusiones generales.

En el estudio de las velocidades del viento se ha calculado también el factor de escala para el cual Ninja obtiene valores superiores respecto a NASA en todas las ciudades estudiadas tanto para España como para Brasil.

En el análisis realizado de la media anual de la temperatura se ha obtenido como NASA es mayor a Ninja en la mayoría de los casos. En el caso de los valores máximos y mínimos anuales de la temperatura también se obtiene el mismo resultado.

Se ha comprobado para algún caso particular como la temperatura y la irradiación se basan en una distribución normal y como el viento describe una distribución Weibull.

En la mayoría de las ciudades las conclusiones que se pueden extraer de los resultados obtenidos con valores anuales son semejantes a los obtenidos con valores mensuales para ese año. Sin embargo, existen ciudades en las cuales se han obtenido valores anuales en los que NASA superaba a Ninja mientras que si se analiza dicho año de forma mensual aparecen meses con superioridad en los valores para Ninja y viceversa.

## 4. iHOGA

### 4.1 INTRODUCCIÓN

Finalmente se utiliza el software iHOGA (“improved Hybrid Optimization by Genetic Algorithms”) que proporciona la simulación y optimización de sistemas eléctricos aislados o conectados a la red.

Se va a realizar la optimización para el suministro eléctrico de un sistema aislado de la red utilizando las dos bases de datos en cinco de las ciudades españolas mediante el software iHOGA con el que se conseguirá una comparativa en la optimización de sistemas híbridos de energías renovables para el año 2014. En este estudio se podrá visualizar, con los datos tratados hasta el momento, la diferencia o igualdad de las bases desde cuatro puntos de vista distintos. El coste de la solución óptima, la generación fotovoltaica, el combustible del generador diesel consumido al año y los componentes más apropiados para su uso.

Todas las ciudades estudiadas corresponden a lugares con no mucho viento por lo que la idea del uso de aerogeneradores no es la más apropiada ya que estos componentes suponen una inversión superior a la conveniente en relación a los resultados.

En este apartado el mayor peso recae en el fenómeno meteorológico de la irradiación. A menor irradiación, las baterías se cargan menos y llegan de forma más rápida a su límite inferior provocando la entrada del generador diesel o gasolina. Por el contrario cuanto más irradiación tengamos en el punto escogido, se gastaría menos gasoil.

### 4.2 ZARAGOZA

	NASA	NINJA
COMPONENTES	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
COSTE (€)	18508	18522
GENERACIÓN PV (kWh/año)	1723	1723
COMBUSTIBLE (l/año)	59.3	59.6

Tabla 2. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Zaragoza, NASA frente a Ninja.

Se aprecia un coste algo superior en Ninja lo que supone el uso de más litros de gasoil al año ya que tiene que entrar antes el generador diesel para cubrir la energía. Sin embargo son diferencias prácticamente despreciables suponiendo que se está estudiando en un rango temporal de un año completo.

### 4.3 VALENCIA

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	16580	16580
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	1810	1810
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	20.4	20.4

Tabla 3. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Valencia, NASA frente a Ninja.

Resultados idénticos para ambas bases en Valencia por lo que no habría diferencia en el uso de cualquier base.

### 4.4 SEVILLA

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	16016	16055
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	1925	1925
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	13.9	9.7

Tabla 4. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Sevilla, NASA frente a Ninja.

Se obtendrían diferencias entre las dos bases tanto en el coste como en el combustible utilizado.

Entre todas las ciudades que se muestran en este apartado, Sevilla es la ciudad que mayores diferencias tiene entre las bases ya que como hemos comprobado en el estudio anterior, es una de las ciudades con mayor diferencia en la irradiación entre bases.

Caso parecido ocurre en Zaragoza (Tabla 2) y Mérida (Anexo 1) que se sitúa junto con Sevilla en la parte más alta (Figura 2) con las diferencias más abultadas.

## 4.5 TENERIFE

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	16527	16522
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	2061	2061
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	24.8	24.8

Tabla 5. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Tenerife, NASA frente a Ninja.

Mismos resultados entre ambas bases excepto una pequeña diferencia en el coste. Se debe a la escasa diferencia de irradiación que existe entre Ninja y NASA como se puede ver en la gráfica 2.

## 4.6 SALAMANCA

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	17719	17719
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	1815	1815
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	43.4	43.4

Tabla 6. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Salamanca, NASA frente a Ninja.

Mismos resultados para las dos bases.

## 4.7 A CORUÑA

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	21831	21831
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	2257	2257
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	45.7	45.7

Tabla 7. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en A Coruña, NASA frente a Ninja.

De nuevo los mismo resultados para NASA y Ninja.

## 4.8 BILBAO

	NASA	NINJA
COMPONENTES	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
COSTE (€)	20852	20852
GENERACIÓN PV (kWh/año)	2319	2319
COMBUSTIBLE (l/año)	26	26

Tabla 8. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Bilbao, NASA frente a Ninja.

Bilbao es una de las ciudades en la que tampoco encontramos diferencias en ningún aspecto entre las bases. Otros casos son A Coruña y Tenerife como hemos demostrado anteriormente. De esta forma se corroboran los resultados que se han podido visualizar en la Figura 2 donde estas 3 ciudades se encuentran entre las que menos diferencias tienen respecto a la irradiación.

En todos los casos mostrados los componentes usados son los nombrados en las tablas por lo que no se haría uso de aerogeneradores ni turbinas.

Se podría concluir que la elección de una de las bases no supondría grandes beneficios en comparación a la otra. La diferencia en el coste sería mínima, la diferencia en el combustible del generador diesel usado no sería mayor a 0,5 litros por año y la generación de energía sería similar en ambas bases conforme a la tendencia que se ha podido ver en las ciudades anteriores.

## 5. CONCLUSIÓN GENERAL

Una vez realizado todo el análisis comparativo de las bases y los cálculos necesarios para visualizar las diferencias existentes entre NASA y Ninja, se extraen una serie de conclusiones generales que podrían ayudar a la hora de elegir una base para un estudio específico.

La forma de obtención de datos es distinta para cada base lo que implica que los datos provenientes de una de las bases no serán similares a los de la otra. El factor más influyente en dicha afirmación es la cuadrícula (latitud/longitud) empleada en la que NASA con una de 0,5° x 0,5° aproximadamente se coloca en primera estancia como la base con mayor exactitud entre las estudiadas. Ninja por el contrario toma los datos de una coordenada realizando una media de una zona de extensión mayor a NASA, de unos 50 km x 50 km.



Respecto al rango temporal de Ninja, siendo horario con respecto al diario de NASA aumentan las posibilidades de desigualdad en los datos situando a Ninja con mayor precisión respecto a un estudio enfocado más al estudio temporal.

Exceptuando alguna anomalía en el coeficiente de correlación del viento en Ninja y algún valor puntual que se aleja de forma suave de la media, las bases proporcionan datos con una tendencia por lo general muy similar.

Dependiendo del factor meteorológico que se esté analizando y el parámetro de éste en estudio, se obtendrán mayores valores en NASA o en Ninja. Se puede concluir que no existe una base que proporcione valores superiores en todo momento para temperatura, irradiación y viento.

Sí que es verdad que en la gran mayoría de los casos si una de las bases se coloca por encima de la otra en un dato para el primer año ocurrirá lo mismo para el resto de los años.

Por otra parte, el estudio realizado con el software iHOGA tampoco garantiza resultados destacables para la elección de la base en la optimización de sistemas híbridos de energías renovables. La irradiación es el factor principal causante de las diferencias de coste óptimo y combustible empleado, ya que en general en las localidades estudiadas el viento es relativamente bajo, de forma que los aerogeneradores no forman parte del sistema óptimo. Sin embargo, las diferencias son muy bajas teniendo en cuenta que el estudio se realiza de forma anual.

La elección de una de las bases no debería dar inconveniente alguno para el estudio de un lugar en específico. Desde mi punto de vista, NASA sería la primera base a elegir ya que la precisión espacial es más fiable. Por el contrario si el estudio se quiere realizar centrándonos en un único lugar y en el transcurso de los valores a lo largo de los días del año escogería Ninja.

Finalmente comentar que en el caso de que no fuese un estudio internacional, la mejor elección sería Ninja mediante el conjunto de datos SARAH ya que de esta forma obtendríamos los valores horarios a la vez que en una cuadrícula regular muchísimo más reducida de  $0,05^\circ \times 0,05^\circ$  consiguiendo la mayor exactitud posible con respecto a la descarga de datos de estas dos bases.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://www.aura-energia.com/ventajas-e-inconvenientes-de-las-energias-renovables/>
- [2] <https://www.appa.es/energias-renovables/renovables-en-espana/>
- [3] <https://www.heraldo.es/noticias/aragon/2019/09/16/eolica-primer-fuente-electrica-aragon-1334055.html#>
- [4] <https://solar-energia.net/>
- [5] <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/>
- [6] <https://www.lavanguardia.com/natural/actualidad/20190621/463014867279/solar-solar-fotovoltaica-unef-jose-donoso.html>
- [7] <https://www.aprendeconenergia.cl/el-viento-un-recurso-renovable/>
- [8] <https://www.siempreenlasnubes.com/blog/los-origenes-del-viento/>
- [9] <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/viento/estadistica.html>
- [10] <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/weibull.htm>
- [11] <https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-espana>
- [12] <https://astrojem.com/instrumental/nasa.html>
- [13] [https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2008/18jul\\_airs](https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2008/18jul_airs)
- [14] <https://www.elpais.com.uy/vida-actual/nasa-lanza-satelite-meteorologico-nueva-generacion.html>
- [15] <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/>
- [16] [https://power.larc.nasa.gov/documents/POWER\\_Data\\_v9\\_methodology.pdf](https://power.larc.nasa.gov/documents/POWER_Data_v9_methodology.pdf)
- [17] <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/>
- [18] <https://power.larc.nasa.gov/>
- [19] Pfenninger, Stefan and Staffell, Iain (2016). Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data. Energy 114.
- [20] <https://www.renewables.ninja/about>

- [21] [https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewDoiDetails?acronym=SARAH\\_V001](https://wui.cmsaf.eu/safira/action/viewDoiDetails?acronym=SARAH_V001)
- [22] [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)
- [23] <https://gmao.gsfc.nasa.gov/reanalysis/MERRA-2/>
- [24] <https://www.renewables.ninja/register>
- [25] <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- [26] <https://geoinnova.org/blog-territorio/la-nasa-admite-que-el-calentamiento-global-es-fruto-de-la-accion-humana/>

## ANEXOS

### ANEXO 1. COMPARATIVA NASA FRENTE A NINJA EN EL SOFTWARE iHOGA.

De igual forma que en la memoria se lleva a cabo el análisis del resto de las ciudades.

#### BARCELONA

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	17223	17238
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	1788	1788
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	33.3	33.6

Tabla 9. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Barcelona, NASA frente a Ninja.

#### CÁDIZ

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (NO HAY)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (NO HAY)
<b>COSTE (€)</b>	15284	15284
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	2170	2170
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	0	0

Tabla 10. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Cádiz, NASA frente a Ninja.

#### CIUDAD REAL

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	16186	16172
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	1926	1926
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	12.4	12.1

Tabla 11. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Ciudad Real, NASA frente a Ninja.

## CUENCA

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	18055	18055
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	1753	1753
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	50.1	50.1

Tabla 12. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Cuenca, NASA frente a Ninja.

## LEÓN

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	20078	20078
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	2423	2423
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	10.3	10.3

Tabla 13. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en León, NASA frente a Ninja.

## MADRID

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	18508	18508
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	1731	1731
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	59.3	59.3

Tabla 14. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Madrid, NASA frente a Ninja.

## MÉRIDA

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	16483	16478
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	1883	1883
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	18.4	18.3

Tabla 15. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Mérida, NASA frente a Ninja.

## MURCIA

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (390 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	16084	16084
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	1851	1851
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	10.3	10.3

Tabla 16. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Murcia, NASA frente a Ninja.

## PALMA DE MALLORCA

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 4p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	15571	15571
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	2040	2040
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	5.6	5.6

Tabla 17. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Palma de Mallorca, NASA frente a Ninja.

Estudio correspondiente a las ciudades brasileñas.

## AMAPA

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 8p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 8p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	23105	23232
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	2459	2459
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	19.8	20.1

Tabla 98. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Amapa, NASA frente a Ninja.

Como se puede observar las diferencias entre las bases son algo mayores respecto a las obtenidas en España aunque no lo suficiente grandes como para rechazar una de las bases por completo. Caso similar ocurre con el resto de ciudades.

## BALSAS

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	20888	21104
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	2440	2440
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	30.4	30.4

Tabla 109. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Balsas, NASA frente a Ninja.

## CAMPO GRANDE

	NASA	NINJA
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (NO HAY)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (NO HAY)
<b>COSTE (€)</b>	19384	19275
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	2601	2601
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	0	0

Tabla 20. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Campo Grande, NASA frente a Ninja.

## RÍO DE JANEIRO

	<b>NASA</b>	<b>NINJA</b>
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (NO HAY)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (NO HAY)
<b>COSTE (€)</b>	19275	19275
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	2369	2369
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	0	0

Tabla 21. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Río de Janeiro, NASA frente a Ninja.

## SAO PAULO

	<b>NASA</b>	<b>NINJA</b>
<b>COMPONENTES</b>	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (1.9 kVA)	PANELES FOTOVOLTAICOS (4s x 6p) (100 Wp) BATERÍAS (24s x 1p) (180 Ah) AC generador (1.9 kVA)
<b>COSTE (€)</b>	19235	19235
<b>GENERACIÓN PV (kWh/año)</b>	2048	2048
<b>COMBUSTIBLE (l/año)</b>	11.2	10.9

Tabla 22. Optimización de sistemas híbridos de energías renovables en Sao Paulo, NASA frente a Ninja.



## ANEXO 2. ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DEL VIENTO.

Antes de comenzar a realizar cálculos respecto al viento se optó por un estudio más profundo sobre su origen, su aportación como recurso, la distribución que sigue y los factores de los que depende.

El sol es el causante directo de la aparición del viento junto con su radiación y el calentamiento que provoca en la superficie terrestre. El calor provocado por el sol es absorbido por distintas superficies como pueden ser el agua, hielo, piedra o tierra que provoca diferentes formas de radiación lo cual conllevará el origen del viento [8].

El viento forma parte del grupo de energías renovables, limpias y permanentes que aportan conservación y futuro para el planeta. Como es lógico tiene una gran cantidad de ventajas como por ejemplo que no contamina la calidad del aire, es recurso renovable, se puede aprovechar a nivel doméstico e industrial, es una energía limpia, y no se requiere de gran cantidad de empleados para su mantenimiento [7].

Sin embargo tiene alguna desventaja como las grandes dimensiones de las torres que intervienen en el ecosistema donde se colocan, el deterioro medioambiental en su construcción o el ruido provocado por los rotores ya que es un zumbido constante [7].

La velocidad del viento cambia continuamente por lo que a la hora de describirlo es necesaria una forma estadística descrito por una función matemática. Las más utilizadas son las funciones de Weibull y Rayleigh, este último en el caso de que el factor de forma sea igual a 2[9].

La distribución de Weibull depende de dos parámetros denominados factor de forma (k) y factor de escala (c). Ambos parámetros calculados en la memoria para todas las ciudades y con las dos bases de datos.

Por lo tanto, la distribución de las velocidades del viento es sesgada y no simétrica como se puede dar en otros parámetros meteorológicos. Esta distribución varía de un lugar a otro de la Tierra por lo que el gráfico que representa las velocidades del viento puede variar tanto en forma como en el valor medio [10].

A continuación se muestra un ejemplo de la distribución de Weibull. Se ha realizado de la ciudad de Valencia en el año 2018 con los datos descargados a través de la base de datos de Ninja. Para obtener la distribución de ha calculado anteriormente el factor de forma y el factor de escala como se ha mostrado en la memoria y se han introducido en la página web número 10 de la bibliografía que cuenta con un programa trazador de la distribución de Weibull.

El resultado obtenido es el representado en la Ilustración 1. Escala A hace referencia al factor de escala.

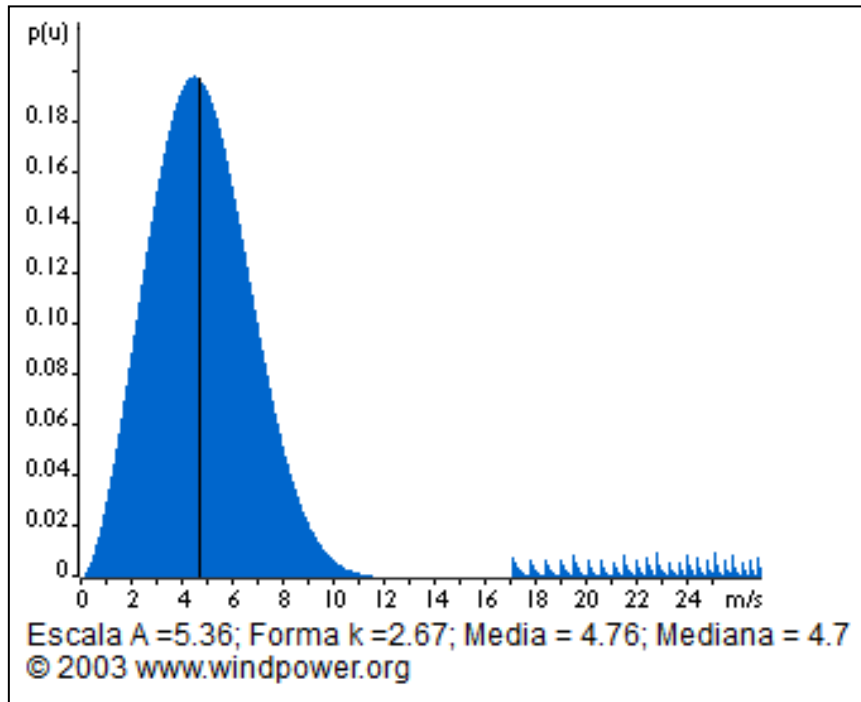


Ilustración 1. Distribución de Weibull.

Además la media que nos proporciona el programa es el mismo que el calculado a través de los datos de Ninja.

Como último estudio realizado en el viento se mencionará una serie de factores que influyen directamente en las velocidades del viento.

La velocidad del viento varía con la altura al enfrentarse a diferentes obstáculos como son edificios, bosques, colinas o lugares sin éstos como puede ser el mar. Las velocidades del viento medias suelen obtenerse a partir de datos meteorológicos a una altura de 10 metros. Es por ello que se ha optado por esta altura en la descarga de datos para el proyecto. Sin embargo hay que tener cuidado con las alturas de los aerogeneradores modernos que llegan a superar los 40 metros.

Otros factores influyentes serán las condiciones climáticas locales, emplazamiento y el entorno que lo rodea.

### ANEXO 3. DISTRIBUCIÓN NORMAL DE LA TEMPERATURA.

De la misma manera que con el viento, antes de empezar con los cálculos relacionados con la temperatura se ha realizado un estudio acerca de su distribución a lo largo del año. Como es lógico los meses del verano serán los que tengan mayor temperatura y los del invierno serán los que menos por lo que en un principio podríamos asumir que la temperatura tenderá a una distribución normal.

Lo que se ha realizado es un pequeño estudio de la temperatura en Zaragoza del año 2018 para comprobar cómo este parámetro meteorológico tiene una distribución normal a lo largo del año.

Para representar dicha distribución se ha calculado anteriormente con los datos descargados de la NASA la desviación típica anual y el valor medio que determinan completamente la curva. La imagen siguiente muestra el resultado en una serie de intervalos de tiempo tomados.

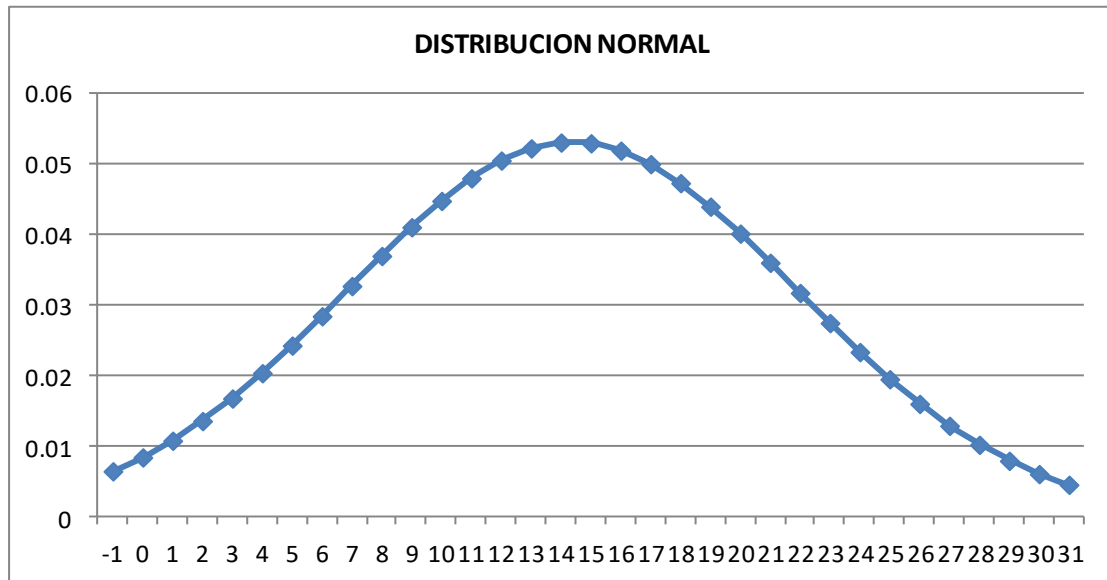


Figura 22. Distribución normal de la temperatura en Zaragoza en el año 2018.

Efectivamente se puede ver una distribución normal o lo que también se denomina como “campana de Gauss”.

Hay cuatro conceptos básicos en esta distribución y representados en la imagen anterior:

La curva normal tiene forma de campana. La media, la moda y la mediana de la distribución son iguales y se localizan en el centro de la distribución. La distribución de probabilidad normal es simétrica alrededor de su media. La curva normal tiende a 0 conforme se aleja de la media en ambas direcciones.

## ANEXO 4. COMPARATIVA EN EL FACTOR DE ESCALA

En el estudio del viento se ha realizado el cálculo del factor de forma del que se ha hablado anteriormente que ayuda para el cálculo de la fuerza del viento sobre las construcciones. A parte también se puede realizar un análisis complementario con factor de escala para cada ciudad. La forma de obtenerlo es la indicada en el apartado del factor de forma en la memoria.

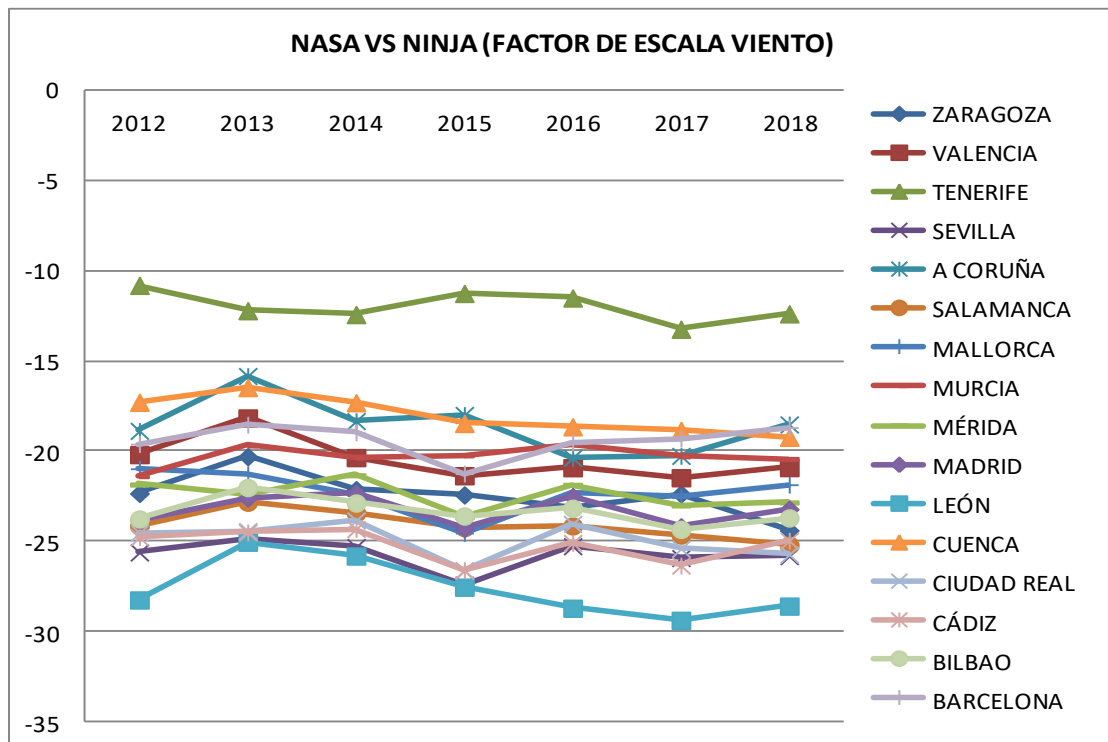


Figura 23. Diferencia en factor de escala de viento, NASA frente a Ninja (%)

Se puede ver como Ninja es la base que proporciona valores con los que se calcula un factor de escala que supera al de la NASA en todas las ciudades españolas y en todos los años de cada una de éstas.

Es un resultado parecido al del factor de forma en las ciudades españolas con unas diferencias que rondan entre el 15 y el 28 % exceptuando Tenerife.

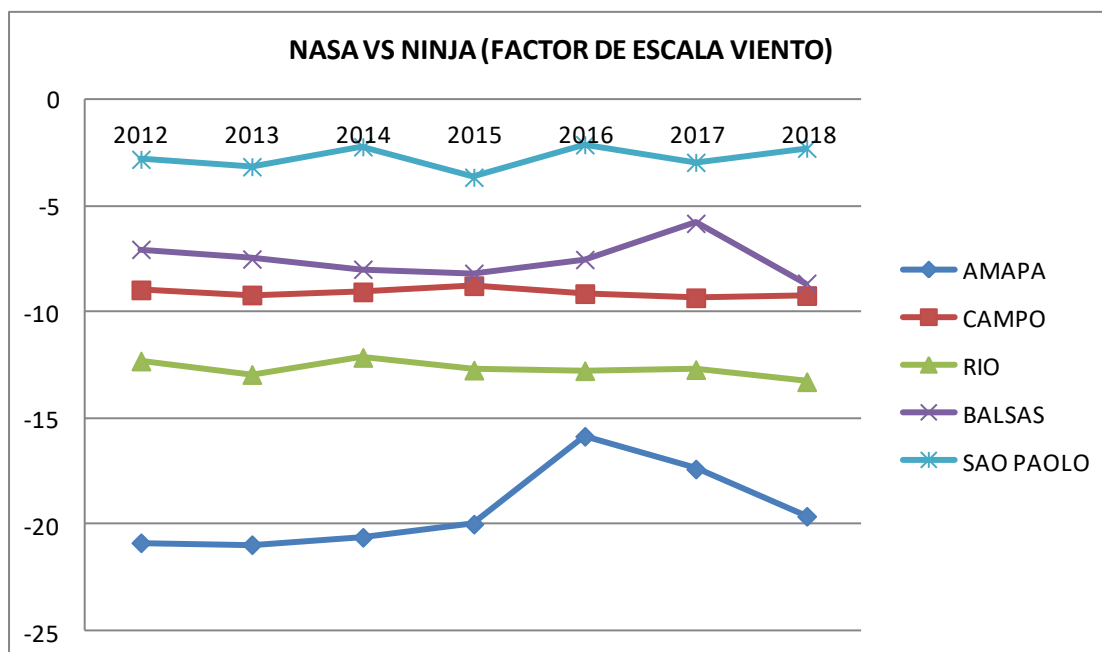


Figura 24. Diferencia en factor de escala de viento, NASA frente a Ninja (%)

Al igual que en el gráfico anterior, Brasil obtiene en todos los casos una diferencia negativa que representa esa superioridad en el valor de Ninja.

## ANEXO 5. MÁXIMOS DIARIOS ANUALES DE LA TEMPERATURA

Este anexo consiste en un estudio similar a los anteriores pero con respecto a los máximos anuales que recogen cada base de datos a lo largo de los años estudiados.

Es importante saber que para poder realizar esta comparación debemos realizarlo desde un mismo periodo temporal, es decir, diario. La NASA nos aporta datos de la temperatura diarios por lo que para compararlo con Ninja debemos calcular el máximo de las medias diarias de la temperatura que se han calculado a partir de los datos horarios descargados de esta última base de datos.

Una vez esto, se ha realizado un pequeño estudio para poder saber la tendencia que tiene cada base respecto al tema tratado. El estudio se reduce a 5 ciudades españolas con las que podremos saber, por lo general, cual es la base de datos que da mayores valores.

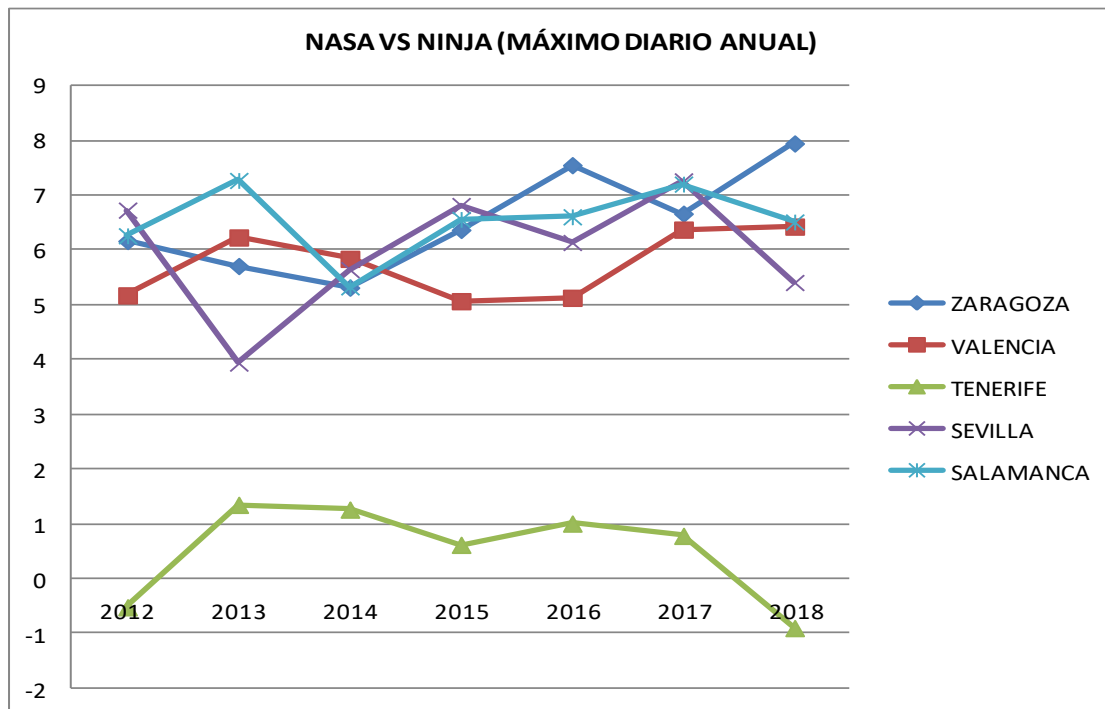


Figura 25. Diferencia en los valores máximos diarios anuales de temperatura en España, NASA frente a Ninja (%)

Como se puede ver, la NASA aporta valores superiores a Ninja y con una tendencia del 6 % por encima de media.

Por otra parte, aparece una ciudad como es Tenerife en la que los datos proporcionados por cada base muestran prácticamente una igualdad además de dos excepciones en las que la NASA da valores levemente inferiores.

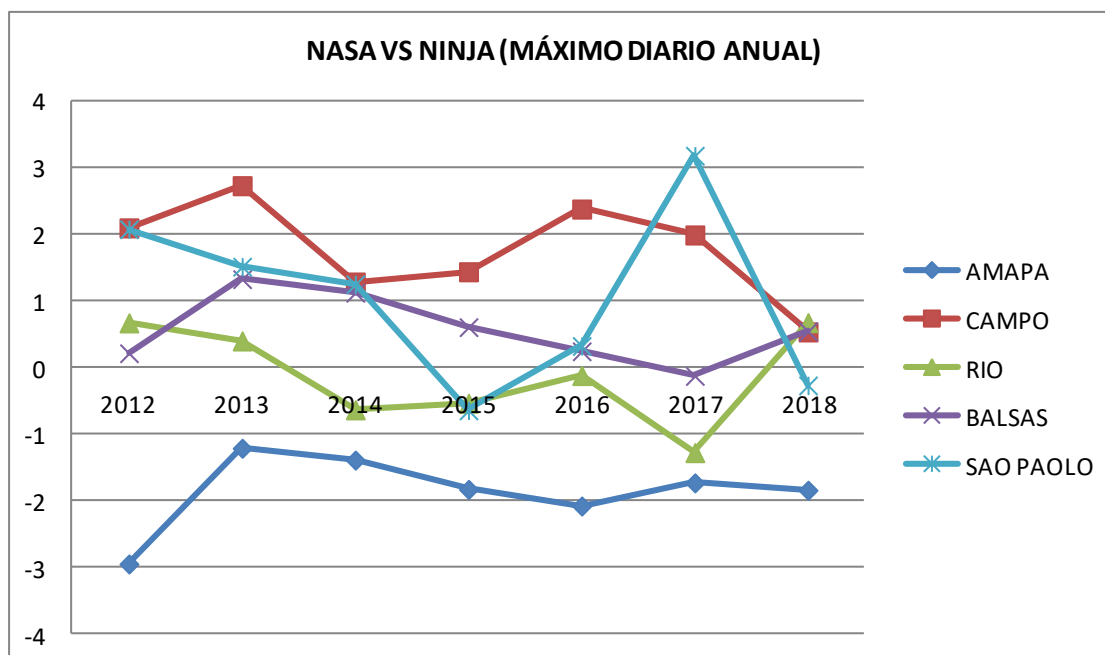


Figura 26. Diferencia en los valores máximos diarios anuales de temperatura en Brasil, NASA frente a Ninja (%)

La figura anterior pertenece al mismo estudio pero con las ciudades brasileñas. En este caso las diferencias son menores con máximas en 3 %. En rangos generales, la NASA proporciona datos superiores a Ninja aunque haya algún caso como Amapa en el que todos los valores se sitúan por debajo del eje de abscisas.

## ANEXO 6. MÍNIMOS DIARIOS ANUALES DE LA TEMPERATURA

Estudio similar al anexo anterior pero basándose en el valor medio diario que se ha tomado en cada año estudiado.

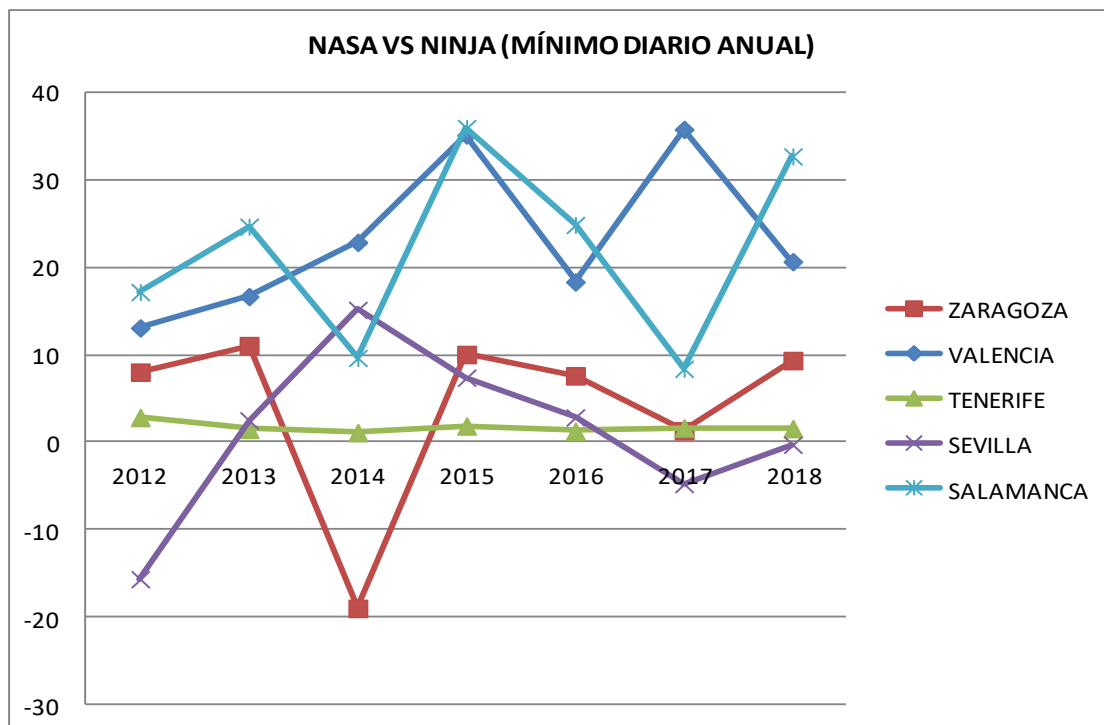


Figura 27. Diferencia en los valores mínimos diarios anuales de temperatura en España, NASA frente a Ninja (%)

En este caso aparece un gráfico en el que NASA supera de nuevo a Ninja. Las diferencias entre los valores se agrandan llegando a máximos de hasta el 35%. Aparecen ciudades como Tenerife que se sitúa justo por encima del eje x con una diferencia muy baja. Sin embargo también podemos encontrar ciudades que cruzan este eje a lo largo de los años representando un cambio de base de datos con valores superiores en máximos diarios de la temperatura.

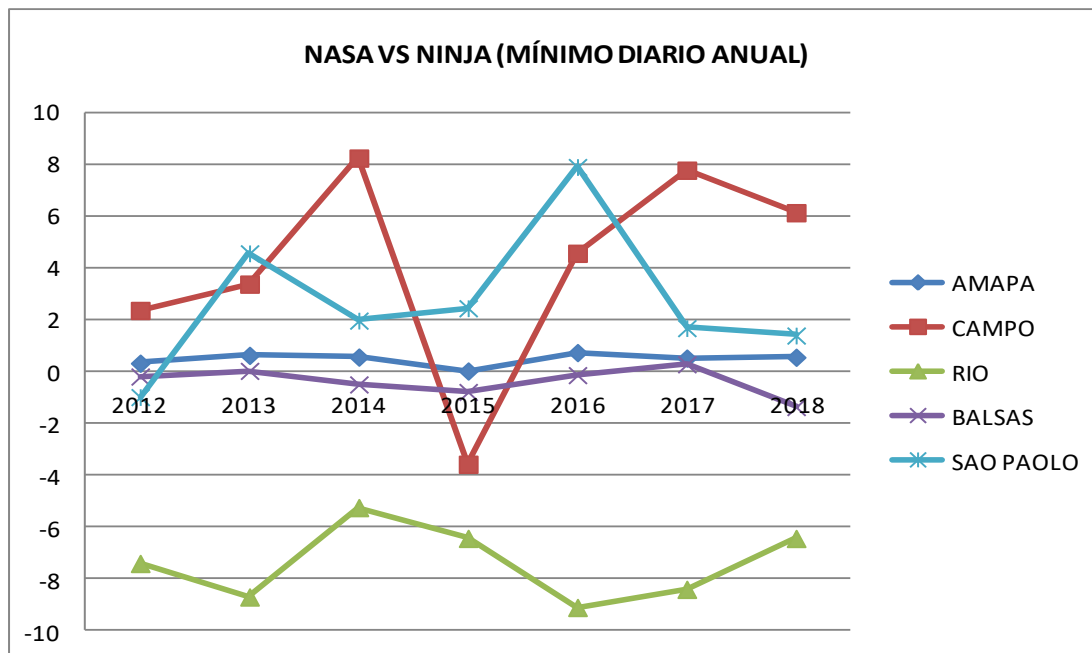


Figura 28. Diferencia en los valores máximos diarios anuales de temperatura en Brasil, NASA frente a Ninja (%)

Por último tenemos el gráfico correspondiente a Brasil en el que las conclusiones vuelven a ser las mismas. Existen ciudades con valores superiores en distintos años para ambas bases a la vez que existen ciudades con superioridad en NASA en todo momento y viceversa. A grandes rasgos Ninja se colocaría con valores inferiores en mínimos de temperatura.

## ANEXO 7. LA NASA Y EL CALENTAMIENTO GLOBAL

La NASA cuenta con una serie de instalaciones que comprenden centros de investigación, construcción y comunicación. Entre ellos se encuentra el observatorio climático de la NASA para Estudios Espaciales, ubicado en Nueva York y que se encarga de monitorizar las temperaturas superficiales globales de manera continua [26].

Una forma de estudiar los problemas medioambientales actuales es con un análisis profundo de los datos en temperatura, irradiación y viento, los cuales han sido usados durante todo este proyecto [26].

Son una forma de analizar el estado actual del planeta a la vez que verificar el cambio que ha habido en los diferentes parámetros meteorológicos con el paso de los años. Así pues, la NASA ha realizado una serie de publicaciones en la que manifiesta que existe un proceso de calentamiento y que el mayor culpable de ello es el ser humano [26].



Ha dado a entender la posibilidad de que el nivel del mar crezca más rápido que en los últimos 4 años así como la disminución de los casquetes polares. Basándose en estos datos, la NASA ha creado un modelo de proyección del aumento de las temperaturas y las precipitaciones en el planeta [26].

## ANEXO 8. ANÁLISIS MENSUAL DE LOS PARÁMETROS METEOROLÓGICOS

Para finalizar se incluyen una serie de gráficas en las que se realizan pequeños estudios mensuales de los datos meteorológicos para proporcionar información adicional sobre el comportamiento que tienen la temperatura, irradiación y viento para cada una de las ciudades en individual.

La primera gráfica corresponde al comportamiento mensual que tiene la temperatura a lo largo de los años. Como se ha podido analizar, la temperatura e irradiación se basan en una distribución normal en la que los meses de verano son aquellos que poseen los valores medios más altos mientras que los meses de invierno son los que menos formando así la llamada ‘campana de Gauss’.

La segunda corresponde a la sucesión de valores medios de las velocidades del viento a lo largo del año.

La tercera gráfica pertenece al comportamiento mensual de la irradiación.

Todas las gráficas siguientes se han realizado con los datos obtenidos por la NASA.

### ZARAGOZA

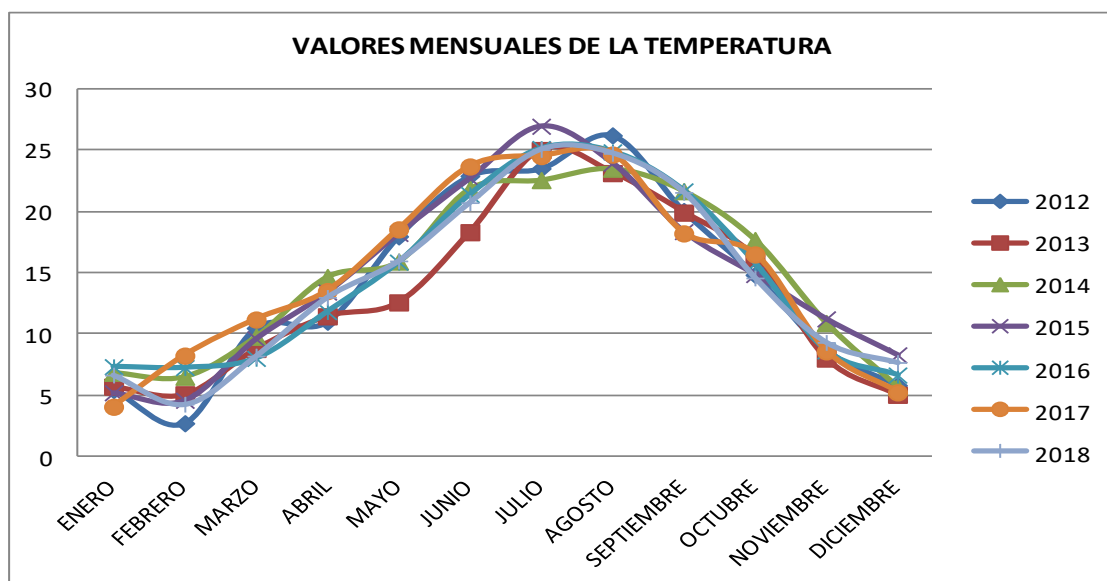


Figura 29. Valores mensuales de la temperatura en Zaragoza (°C)

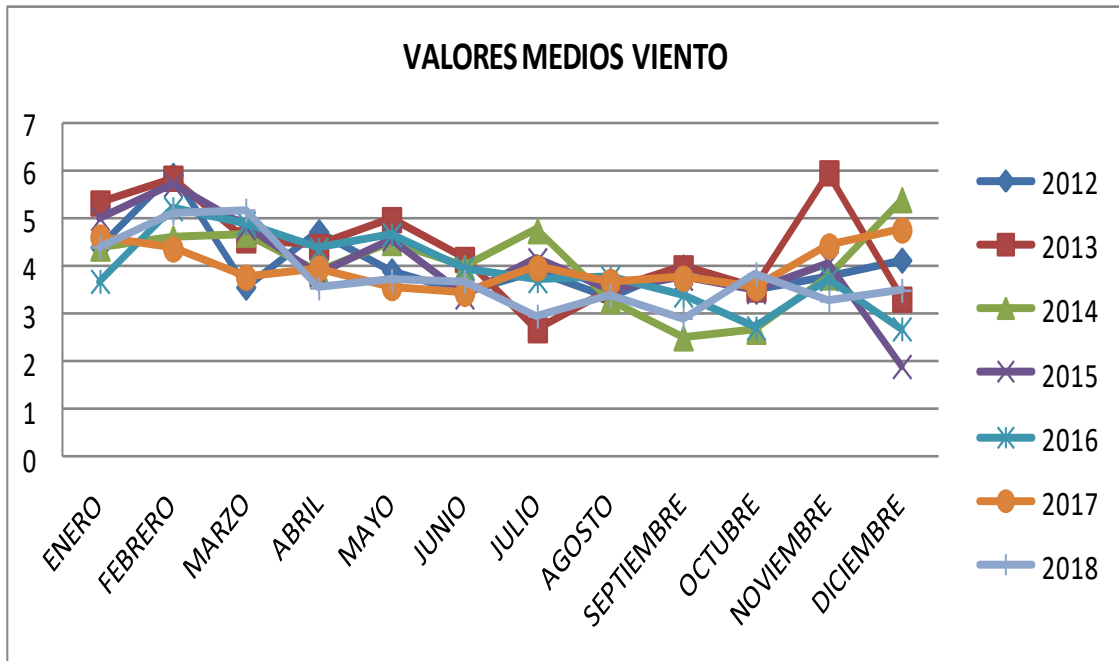


Figura 30. Valores mensuales del viento en Zaragoza (m/s)

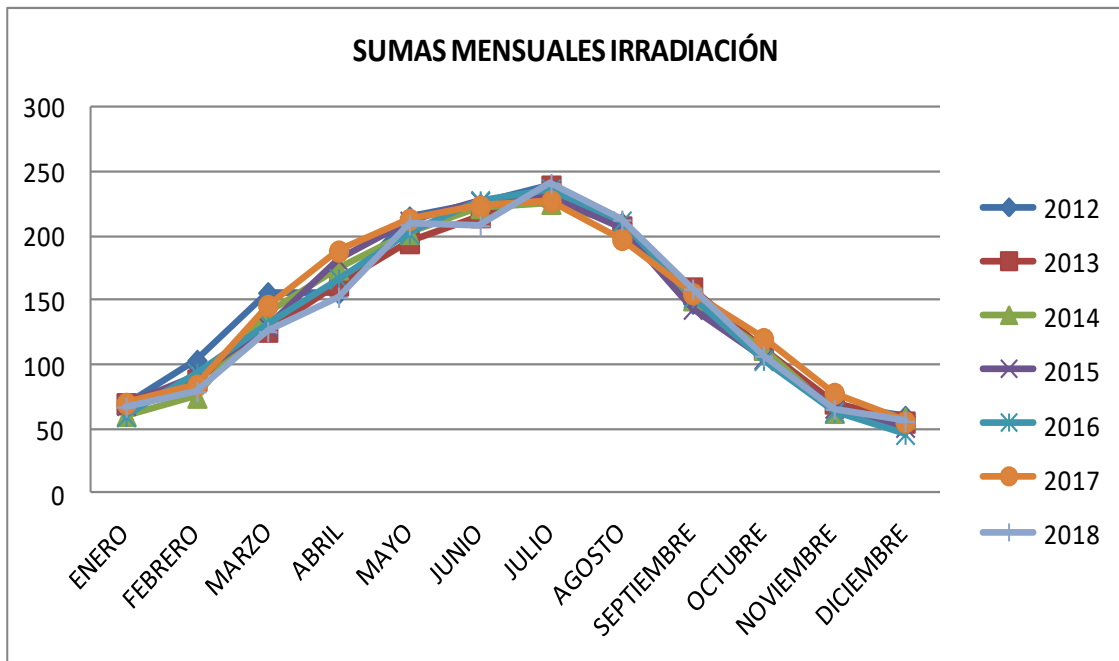


Figura 31. Sumas mensuales de la irradiación en Zaragoza (kWh/m2/mes)

VALENCIA

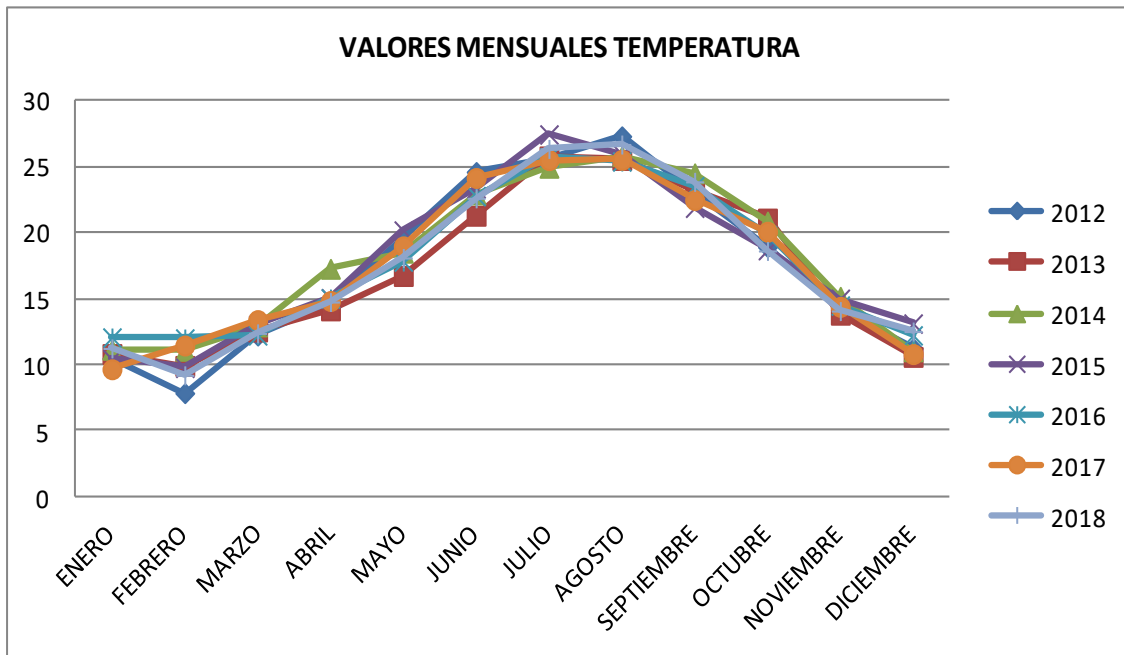


Figura 32. Valores mensuales de la temperatura en Valencia (°C)

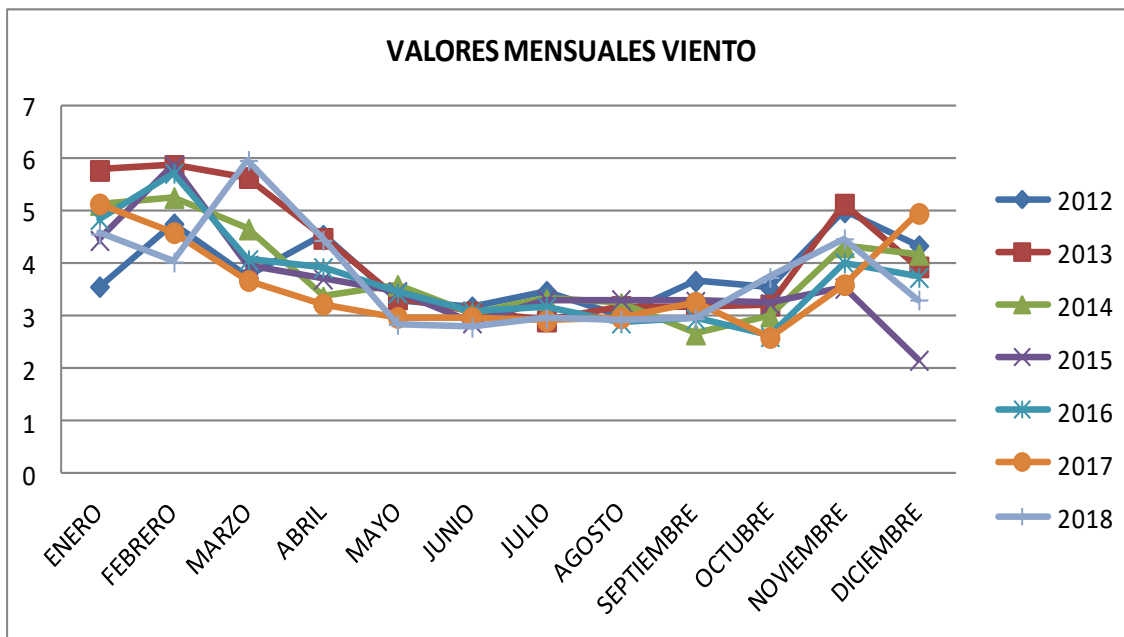


Figura 33. Valores mensuales del viento en Valencia (m/s)

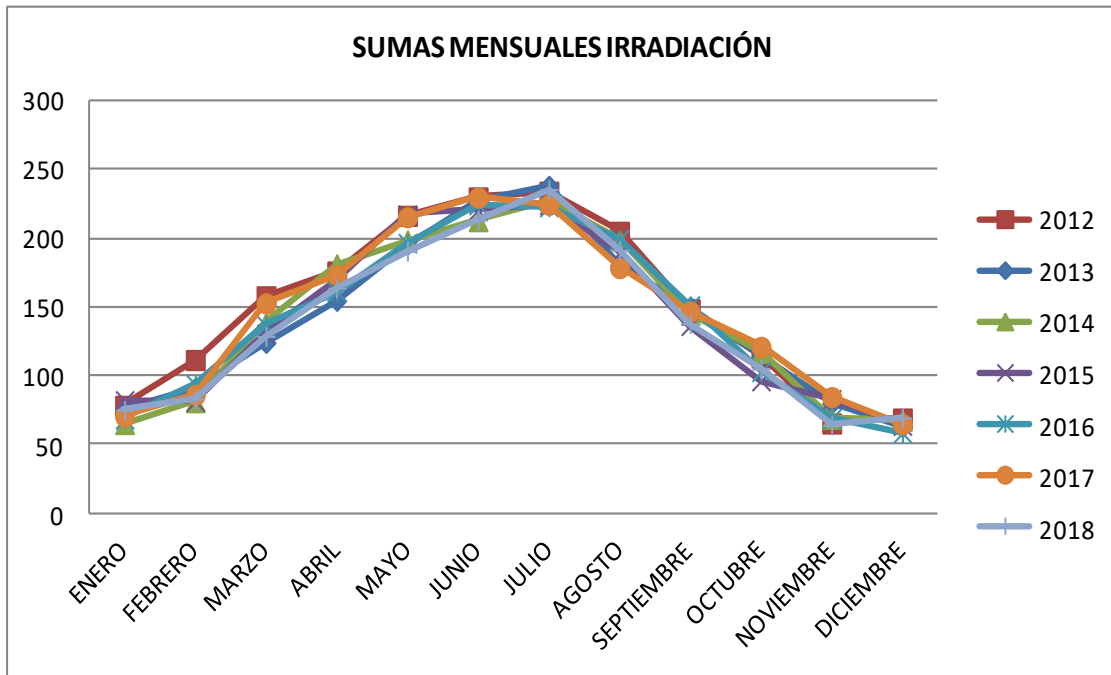


Figura 34. Sumas mensuales de la irradiación en Valencia (kWh/m2/mes)

## TENERIFE

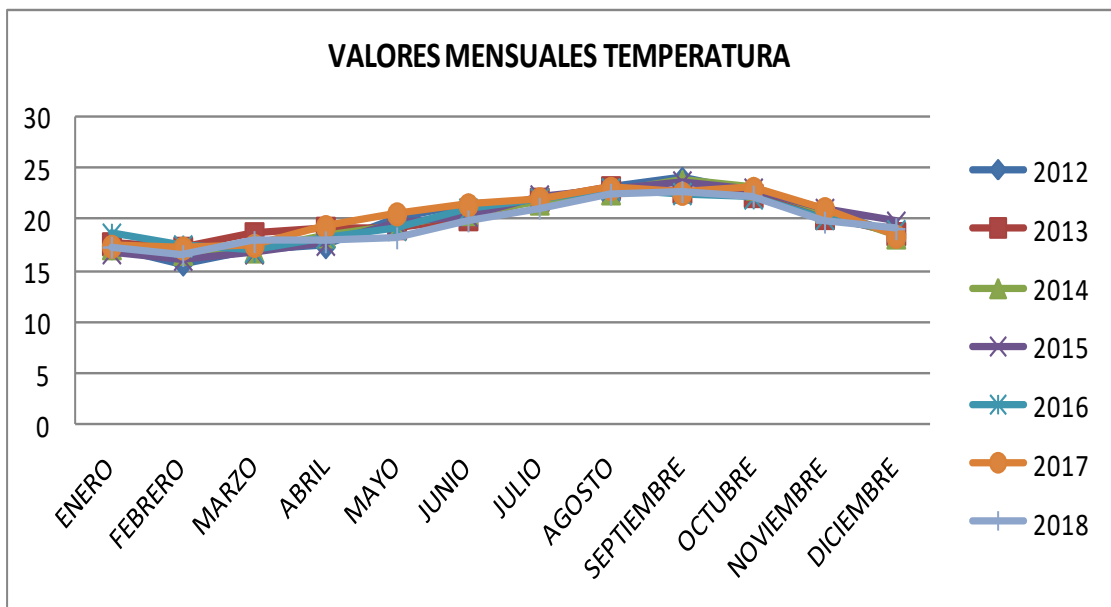


Figura 35. Valores mensuales de la temperatura en Tenerife (°C)

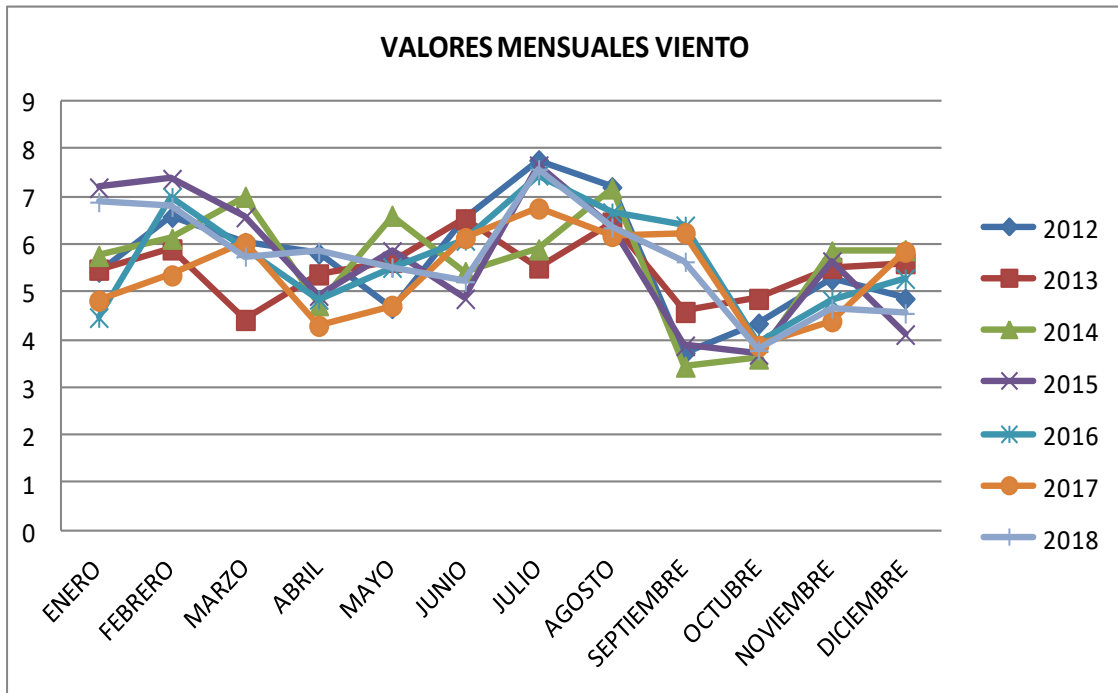


Figura 36. Valores mensuales del viento en Tenerife (m/s)

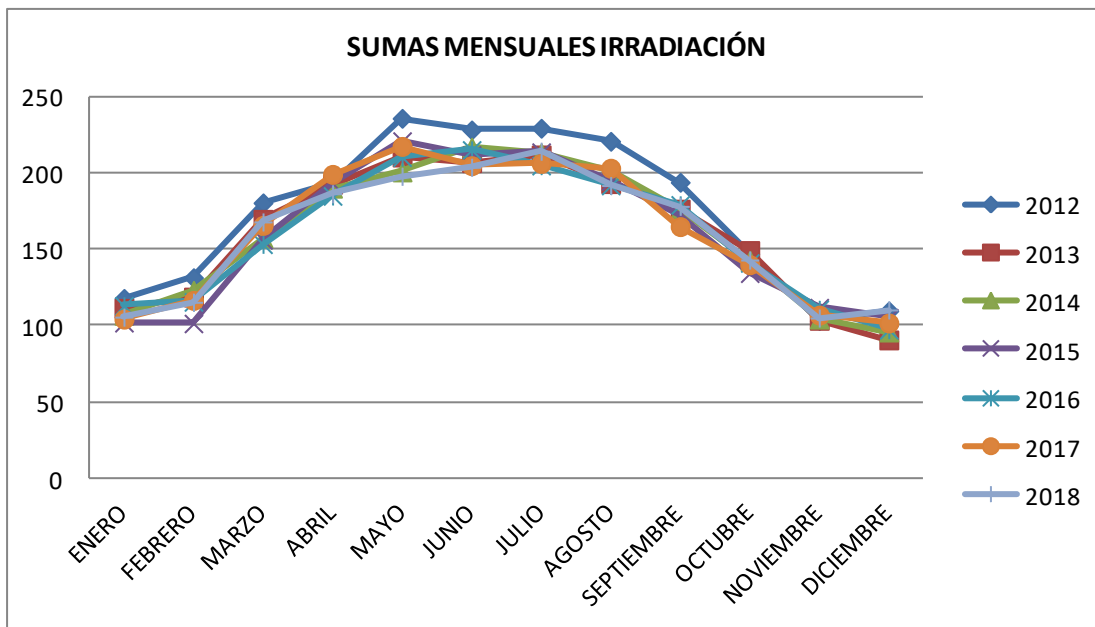


Figura 37. Sumas mensuales de la irradiación en Tenerife (kWh/m<sup>2</sup>/mes)

SEVILLA

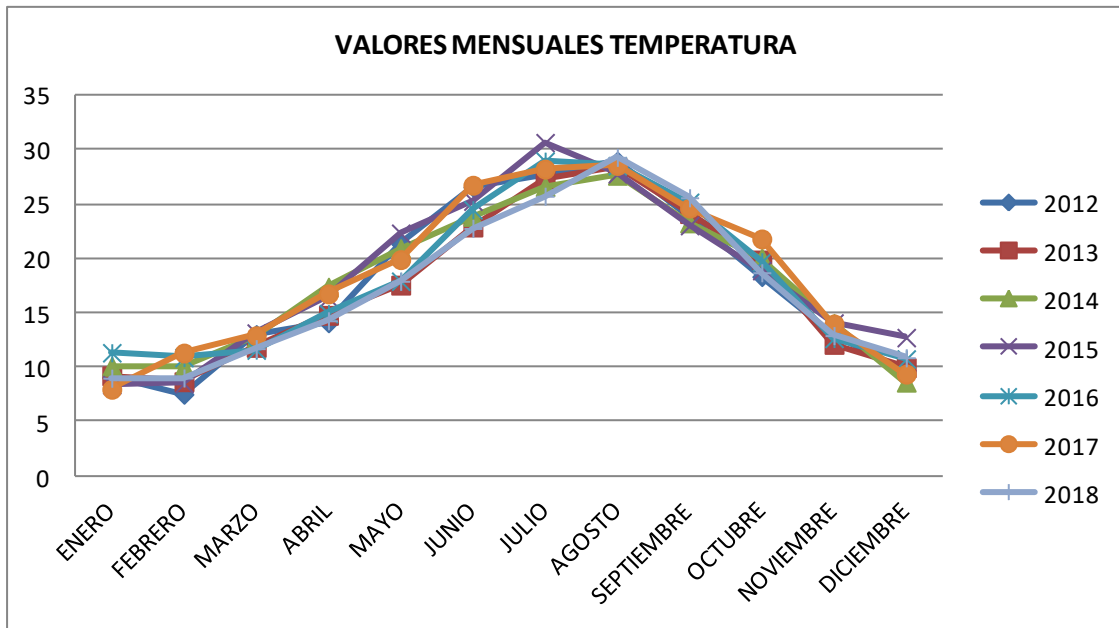


Figura 38. Valores mensuales de la temperatura en Sevilla (°C)

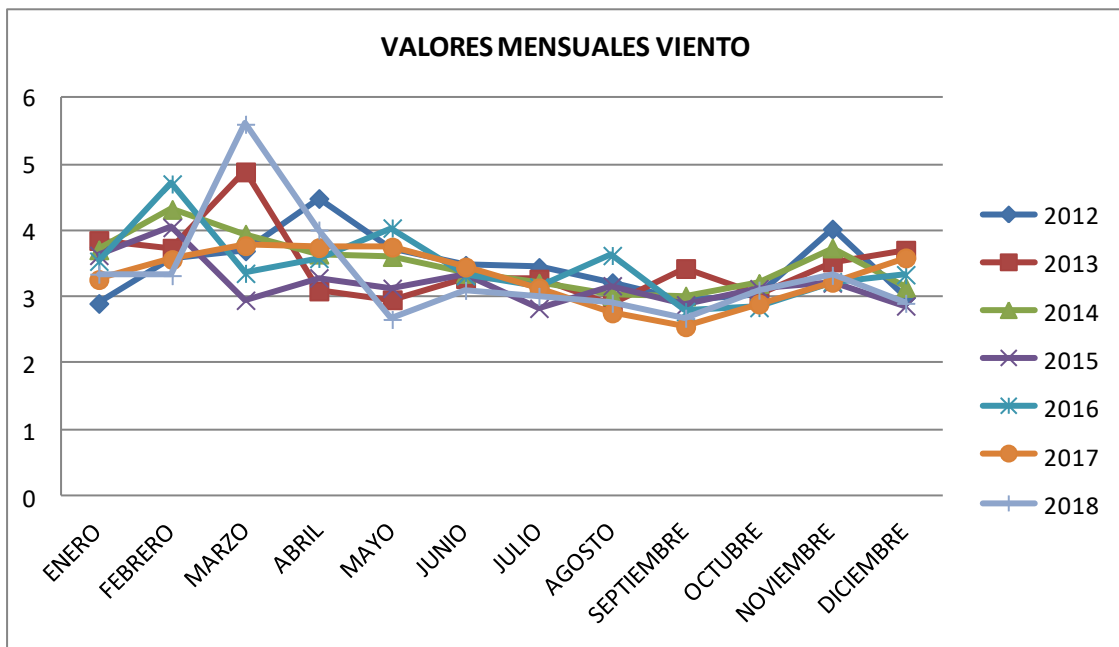


Figura 39. Valores mensuales del viento en Sevilla (m/s)

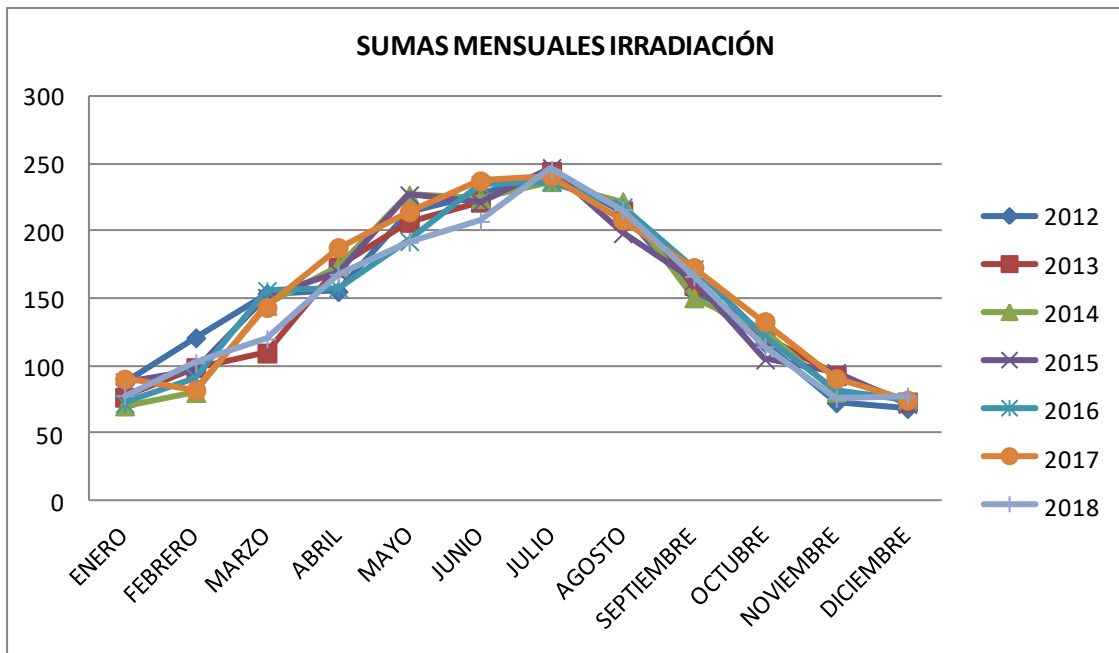


Figura 40. Sumas mensuales de la irradiación en Sevilla (kWh/m2/mes)

SALAMANCA

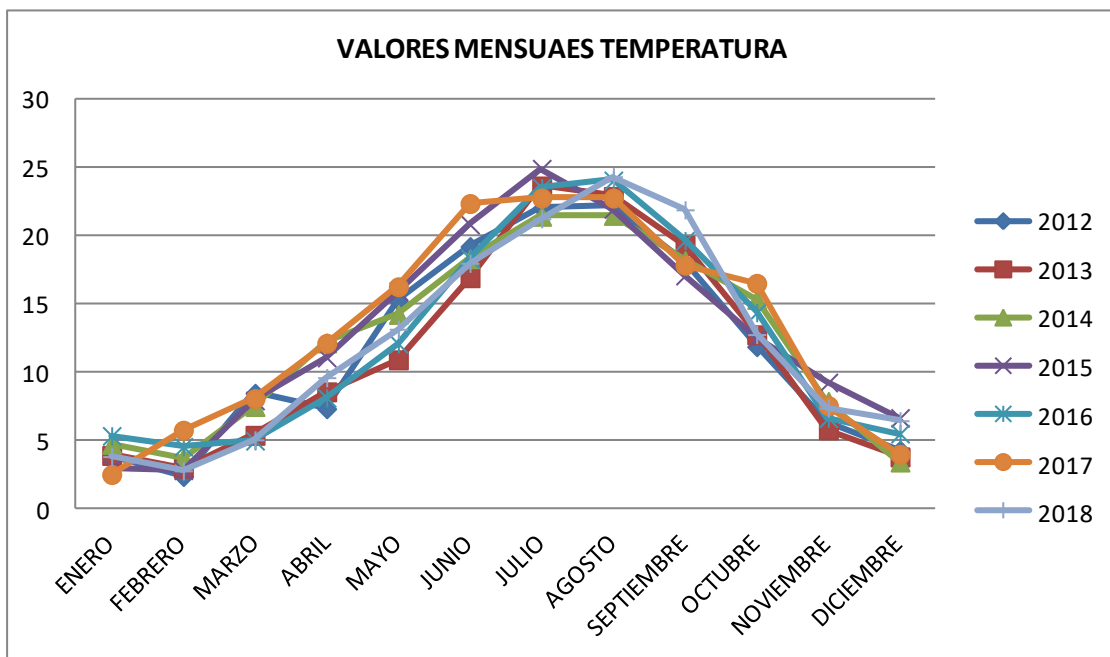


Figura 41. Valores mensuales de la temperatura en Salamanca (°C)

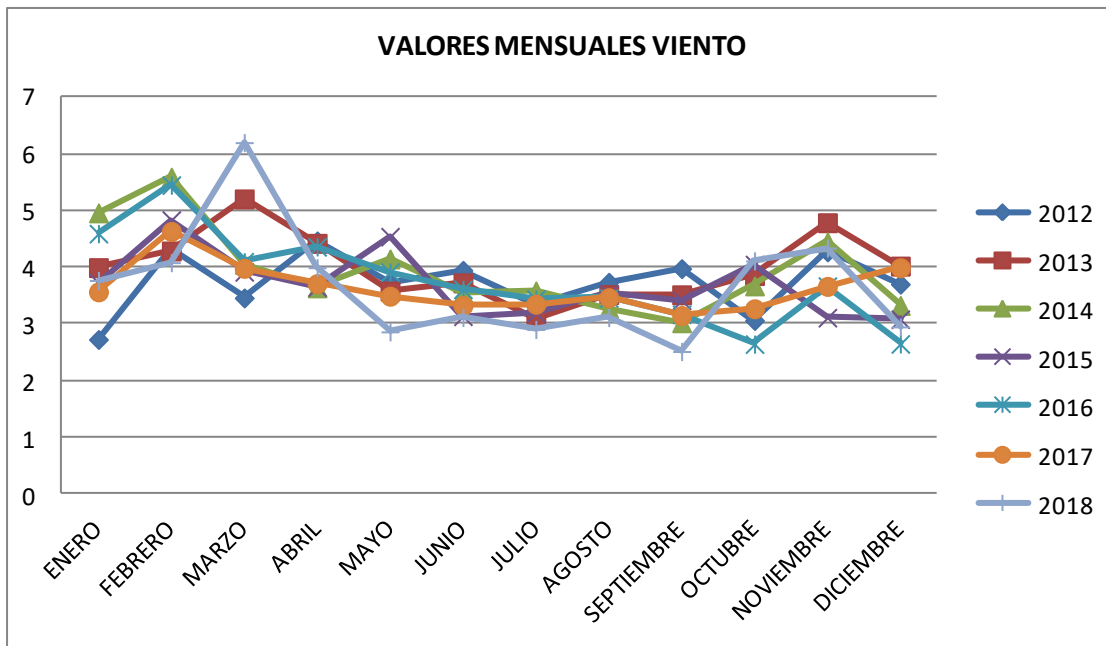


Figura 42. Valores mensuales del viento en Salamanca (m/s)

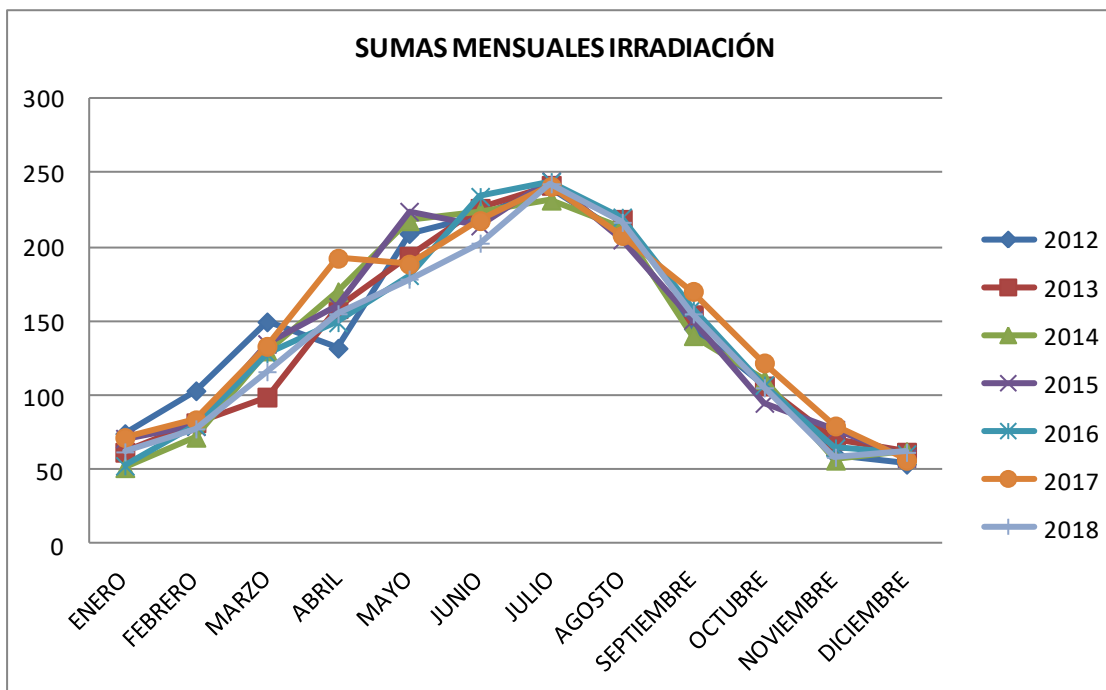


Figura 43. Sumas mensuales de la irradiación en Salamanca (kWh/m2/mes)



PALMA DE MALLORCA

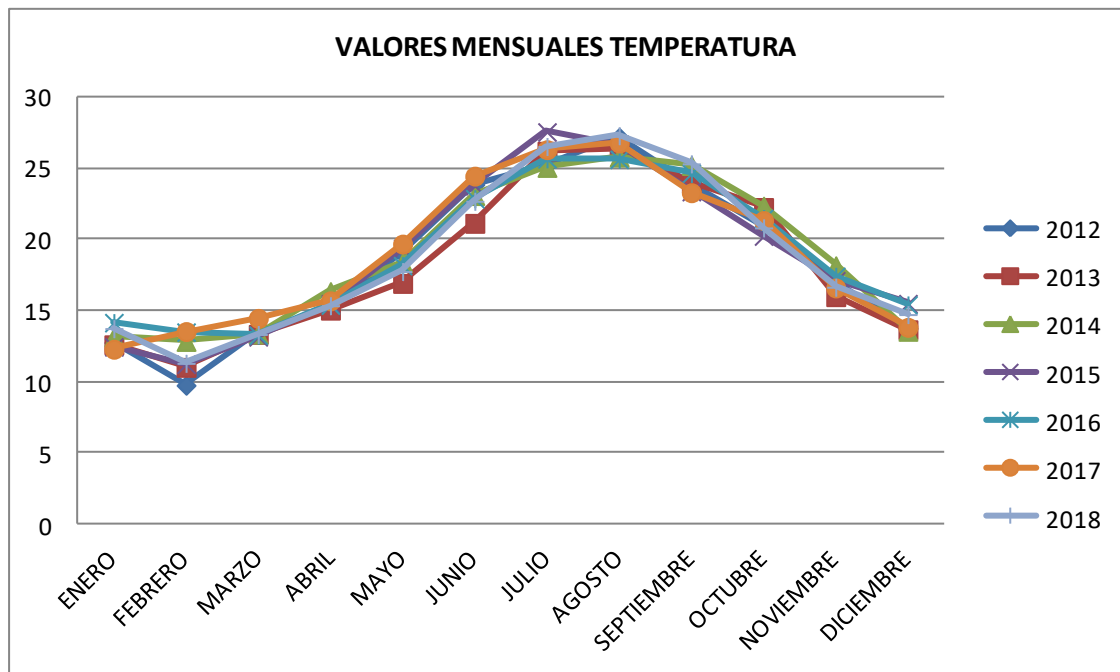


Figura 44. Valores mensuales de la temperatura en Palma de Mallorca (°C)

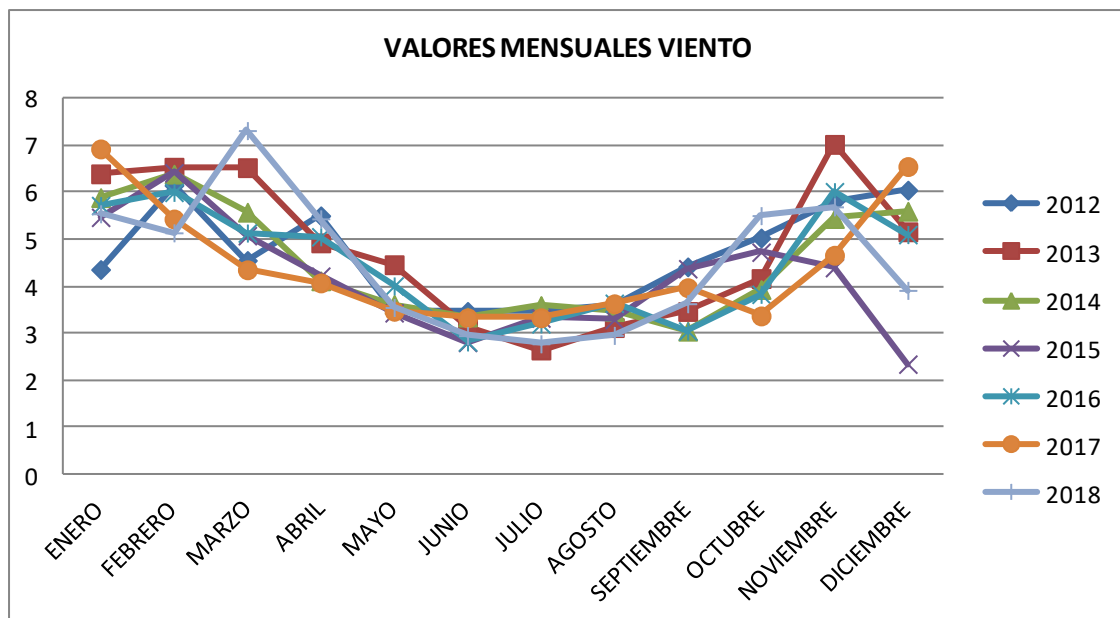


Figura 45. Valores mensuales del viento en Palma de Mallorca (m/s)

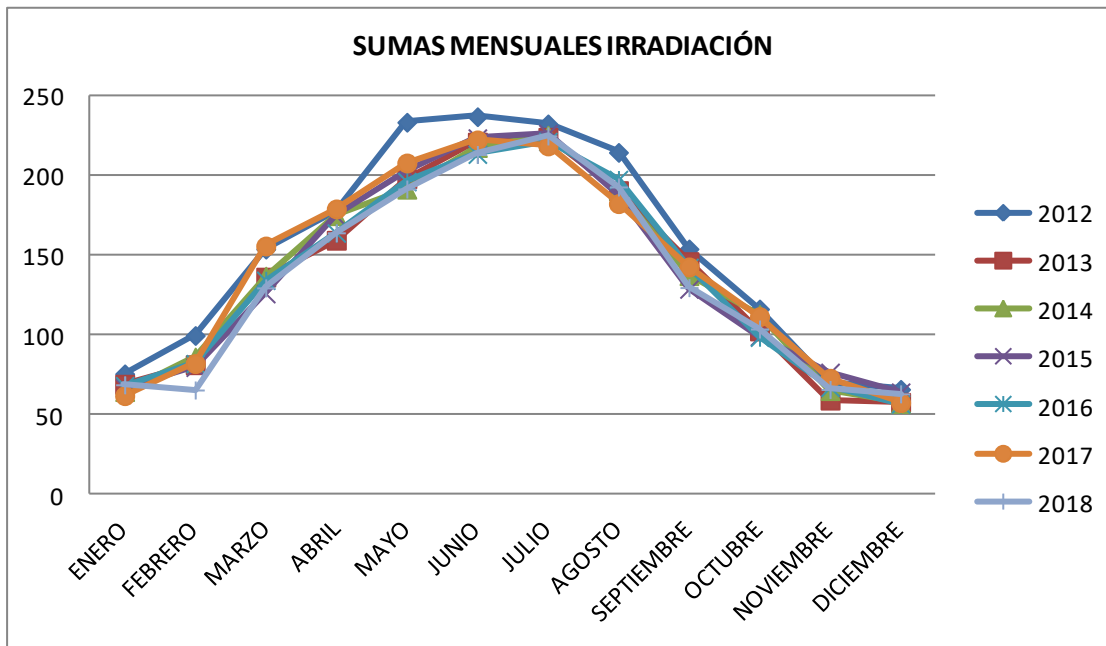


Figura 46. Sumas mensuales de la irradiación en Palma de Mallorca (kWh/m2/mes)

MURCIA

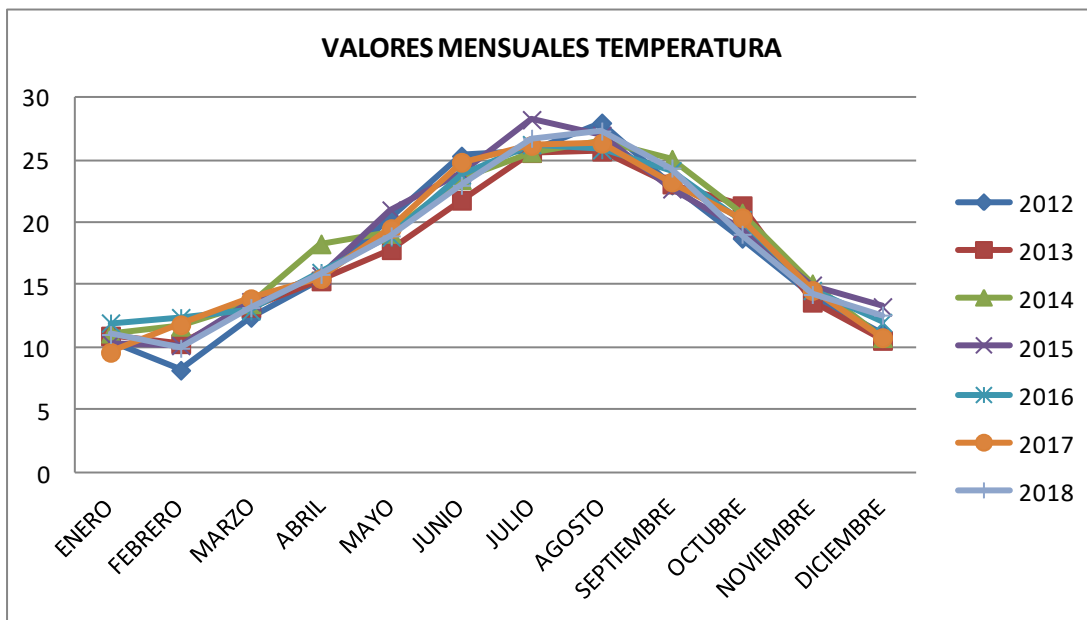


Figura 47. Valores mensuales de la temperatura en Murcia (°C)

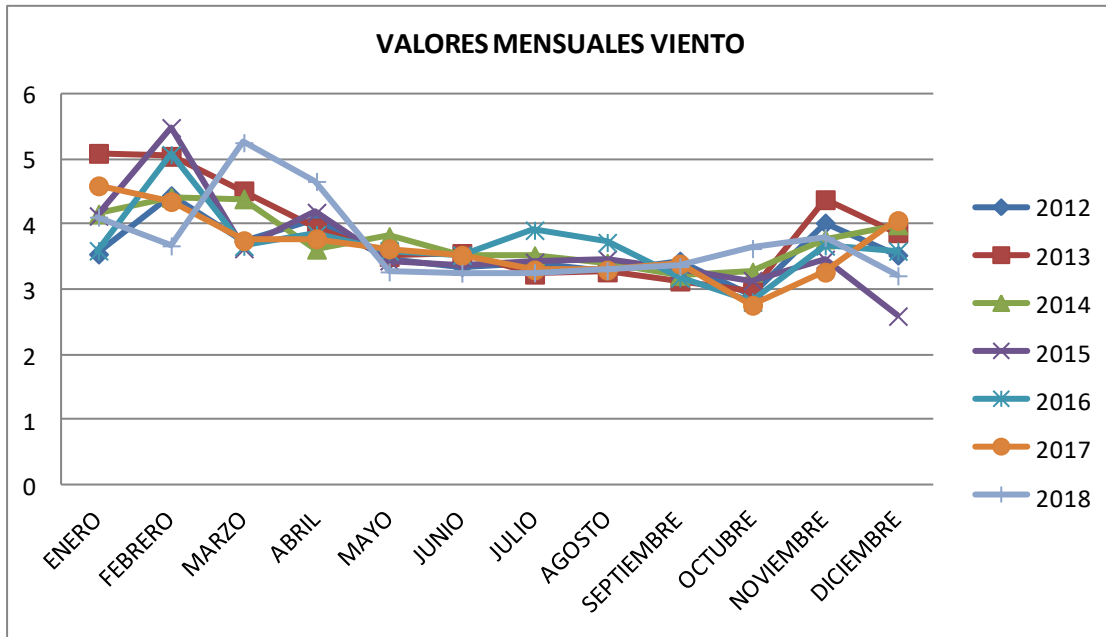


Figura 48. Valores mensuales del viento en Murcia (m/s)

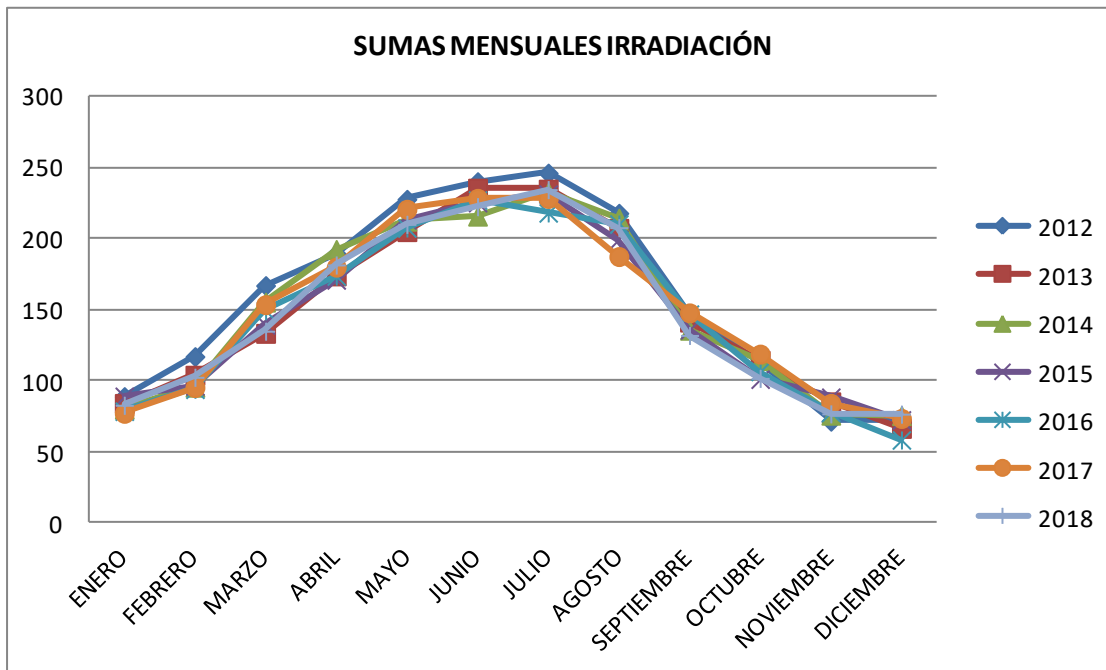


Figura 49. Sumas mensuales de la irradiación en Murcia (kWh/m2/mes)

MÉRIDA

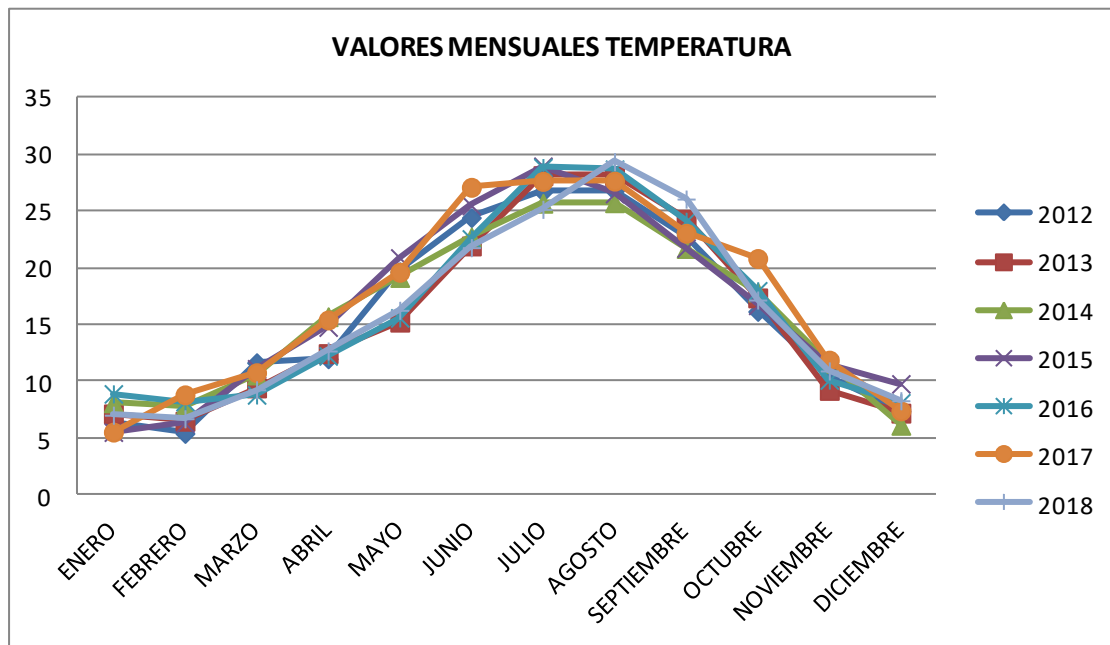


Figura 50. Valores mensuales de la temperatura en Mérida (°C)

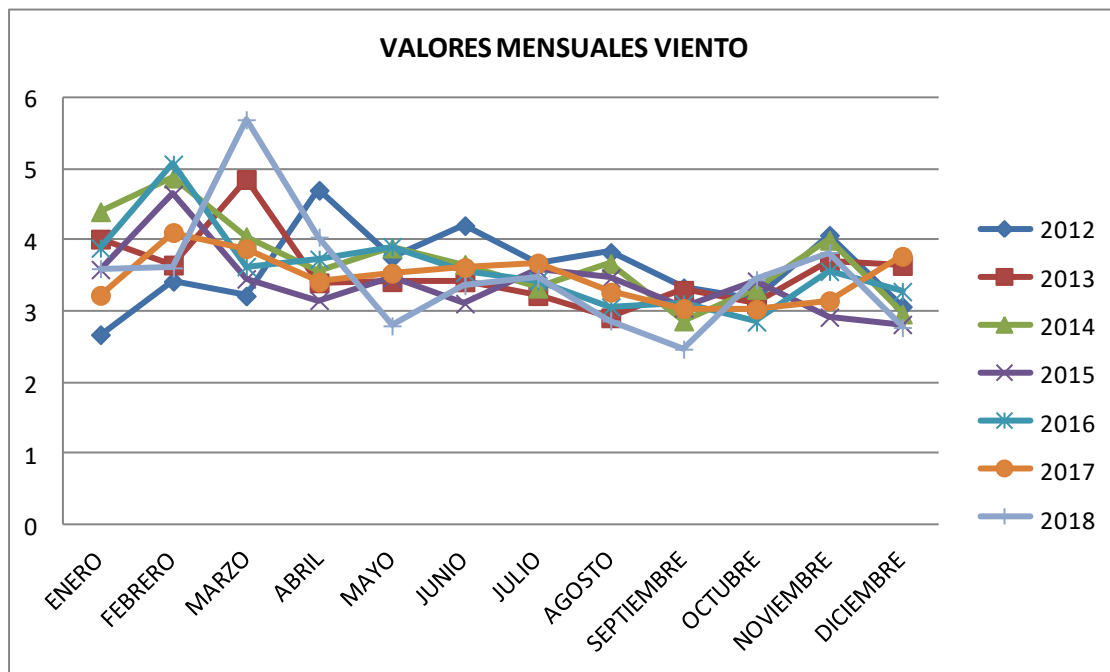


Figura 51. Valores mensuales del viento en Mérida (m/s)

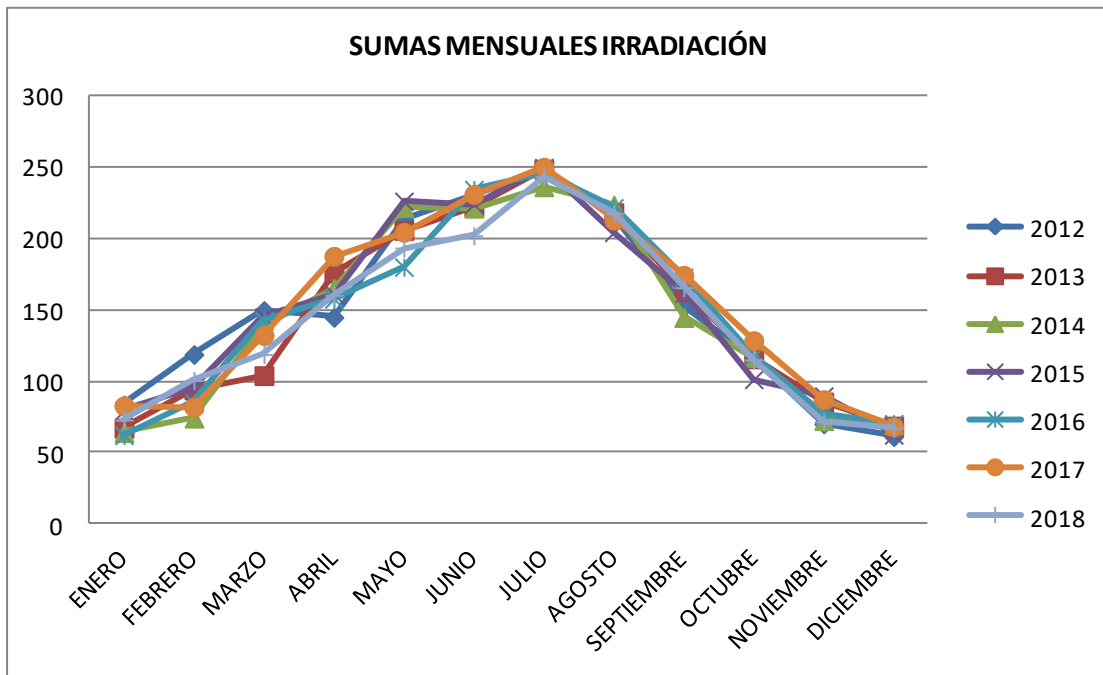


Figura 52. Sumas mensuales de la irradiación en Mérida (kWh/m2/mes)

MADRID

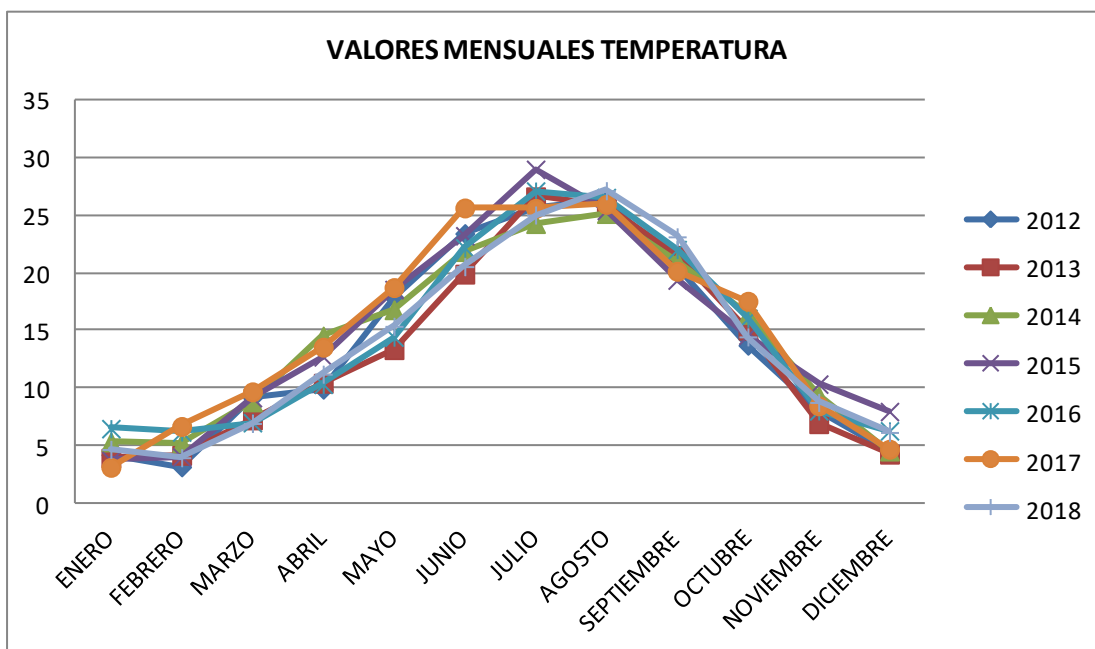


Figura 53. Valores mensuales de la temperatura en Madrid (°C)

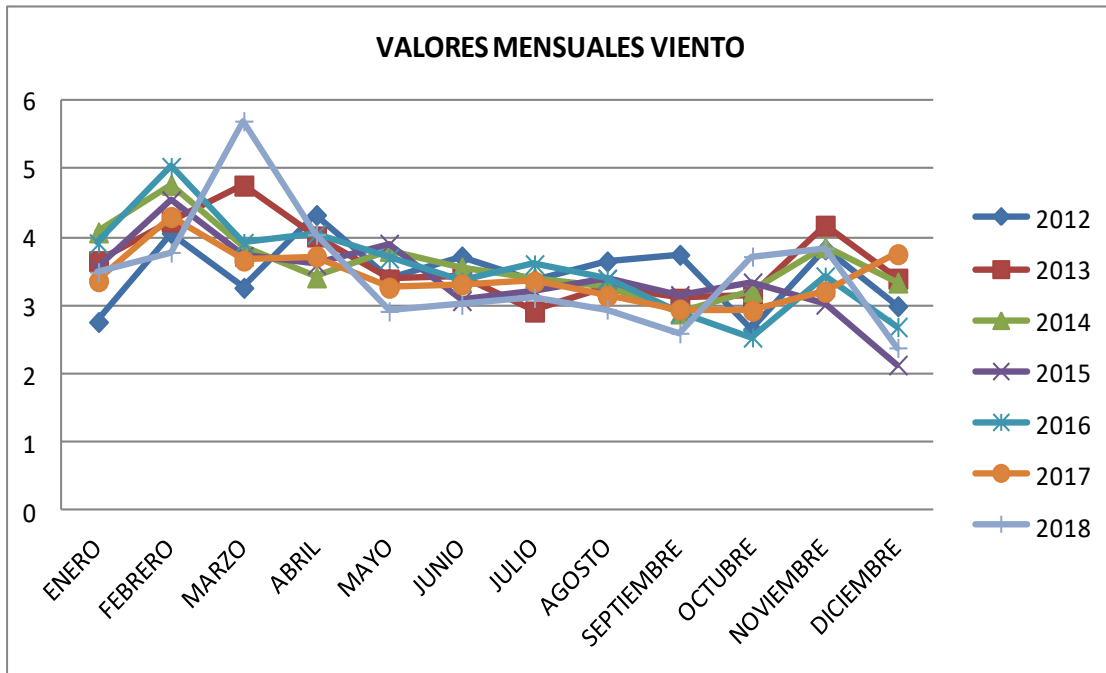


Figura 54. Valores mensuales del viento en Madrid (m/s)

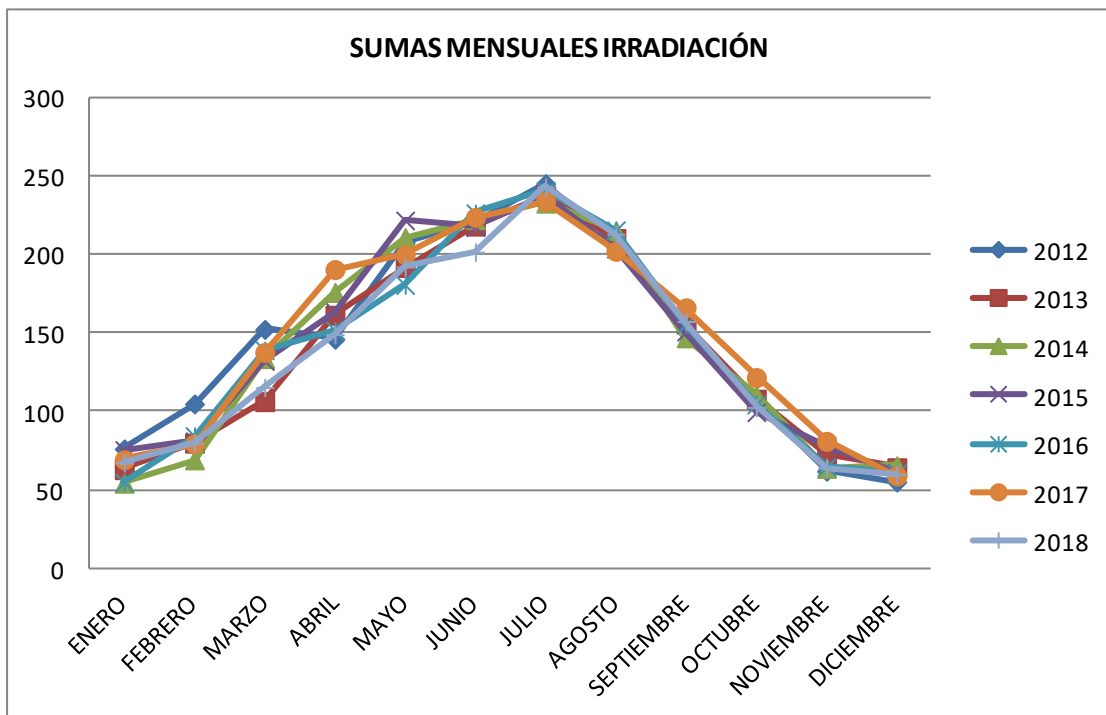


Figura 55. Sumas mensuales de la irradiación en Madrid (kWh/m2/mes)

LEÓN

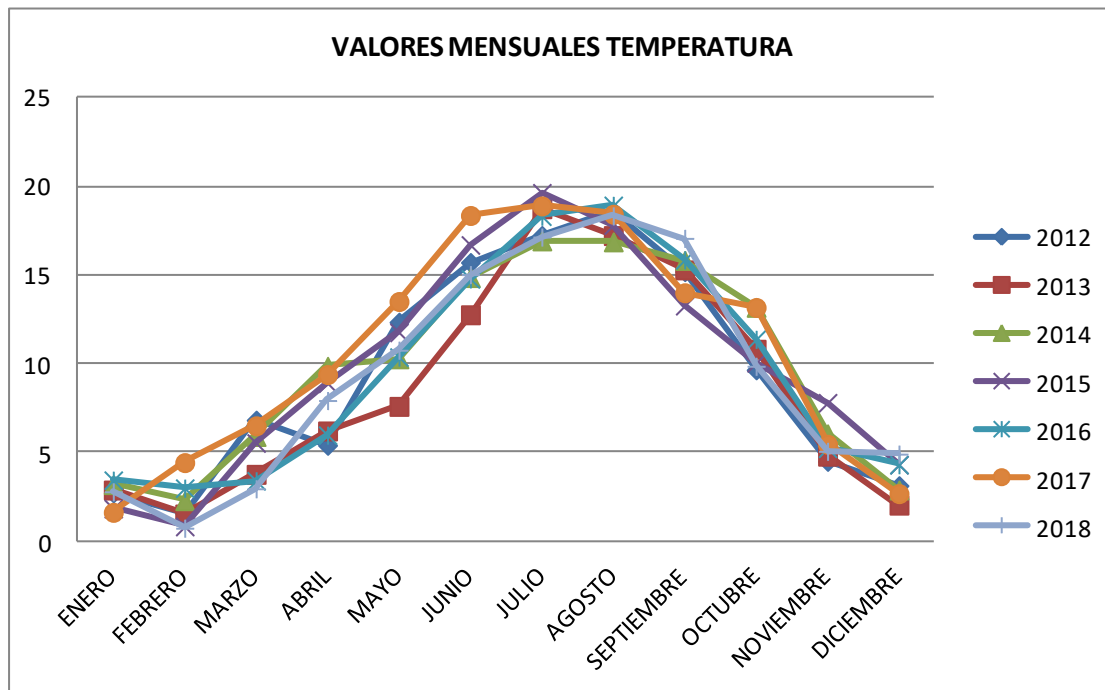


Figura 56. Valores mensuales de la temperatura en León (°C)

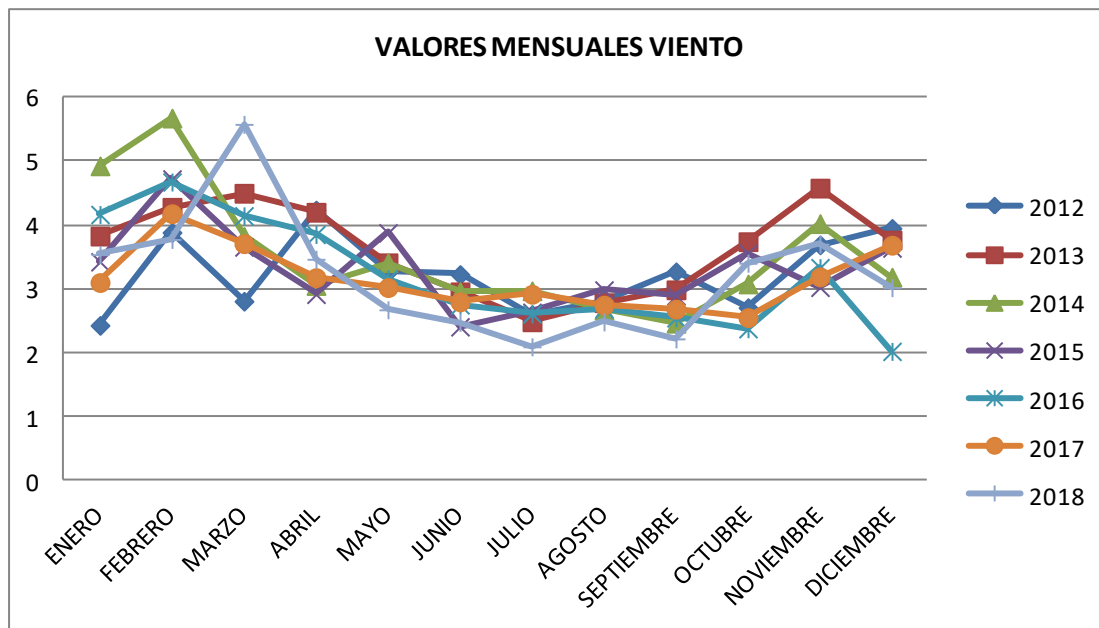


Figura 57. Valores mensuales del viento en León (m/s)

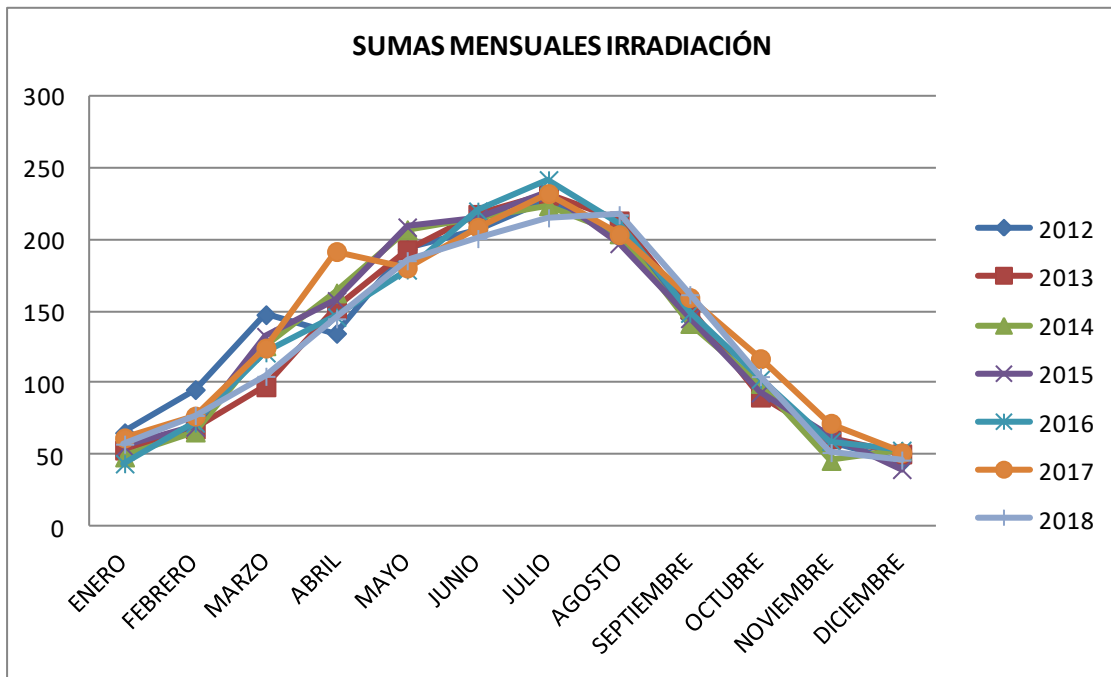


Figura 58. Sumas mensuales de la irradiación en León (kWh/m2/mes)

CUENCA

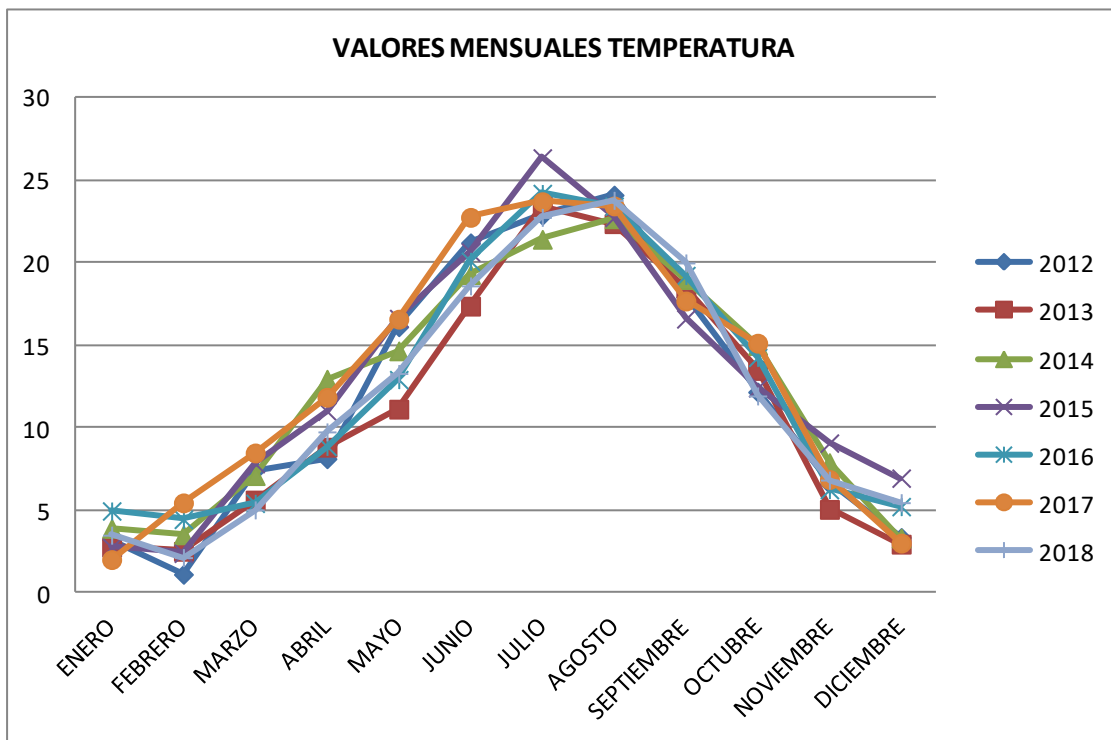


Figura 59. Valores mensuales de la temperatura en Cuenca (°C)



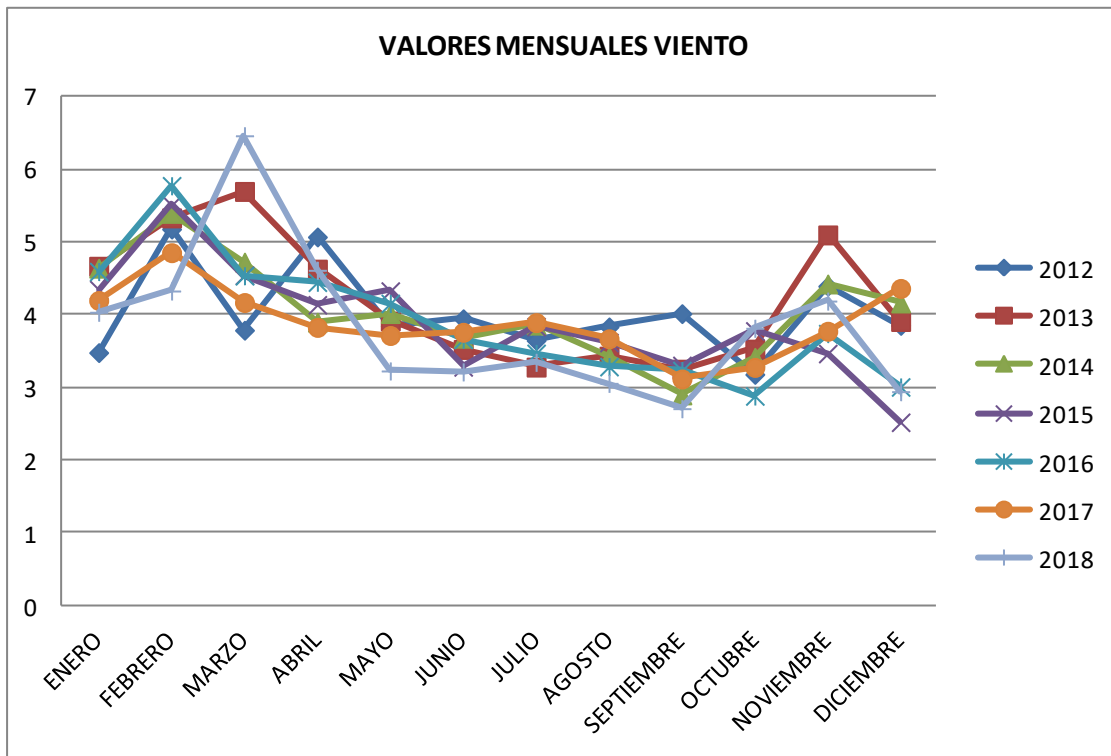


Figura 60. Valores mensuales del viento en Cuenca (m/s)

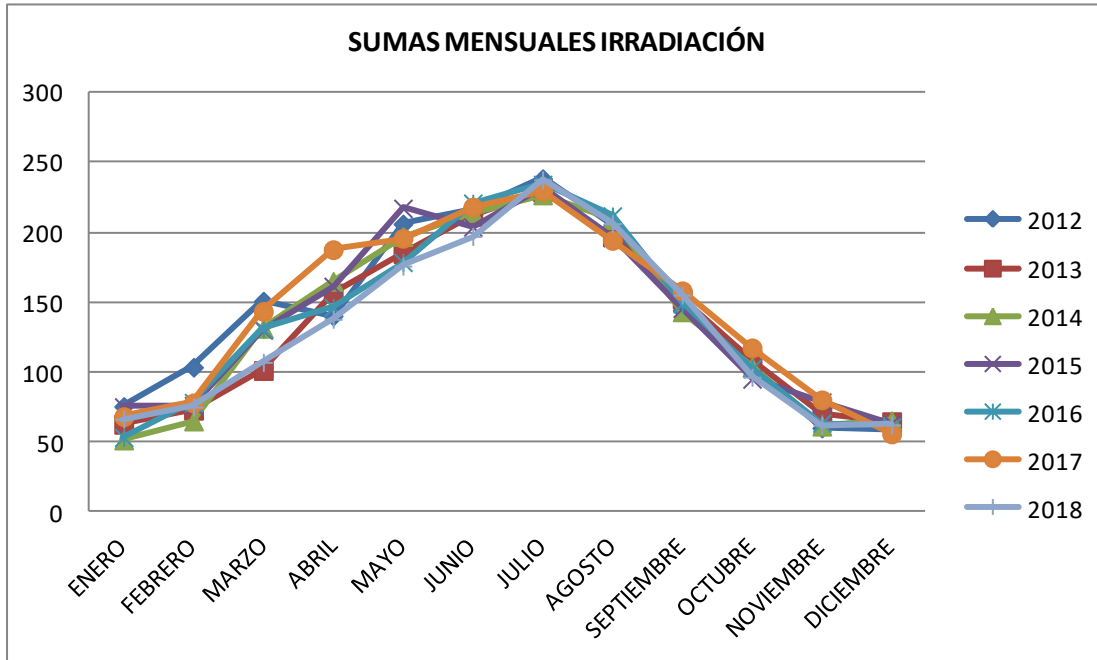


Figura 61. Sumas mensuales de la irradiación en Cuenca (kWh/m2/mes)

CIUDAD REAL

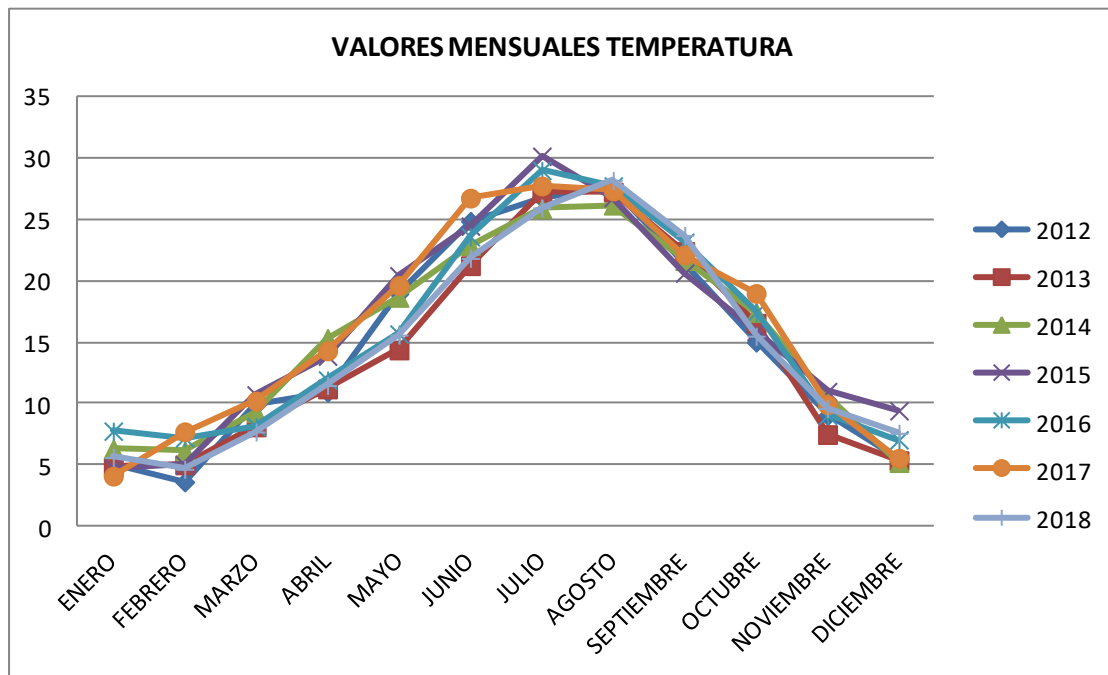


Figura 62. Valores mensuales de la temperatura en Ciudad Real (°C)

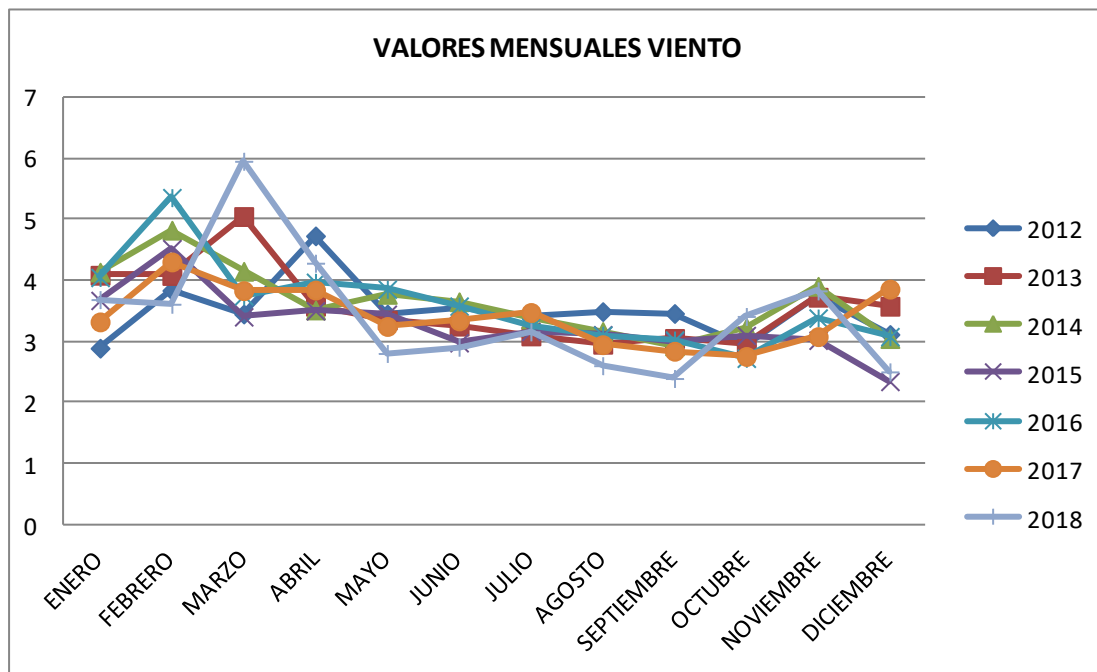


Figura 63. Valores mensuales del viento en Ciudad Real (m/s)

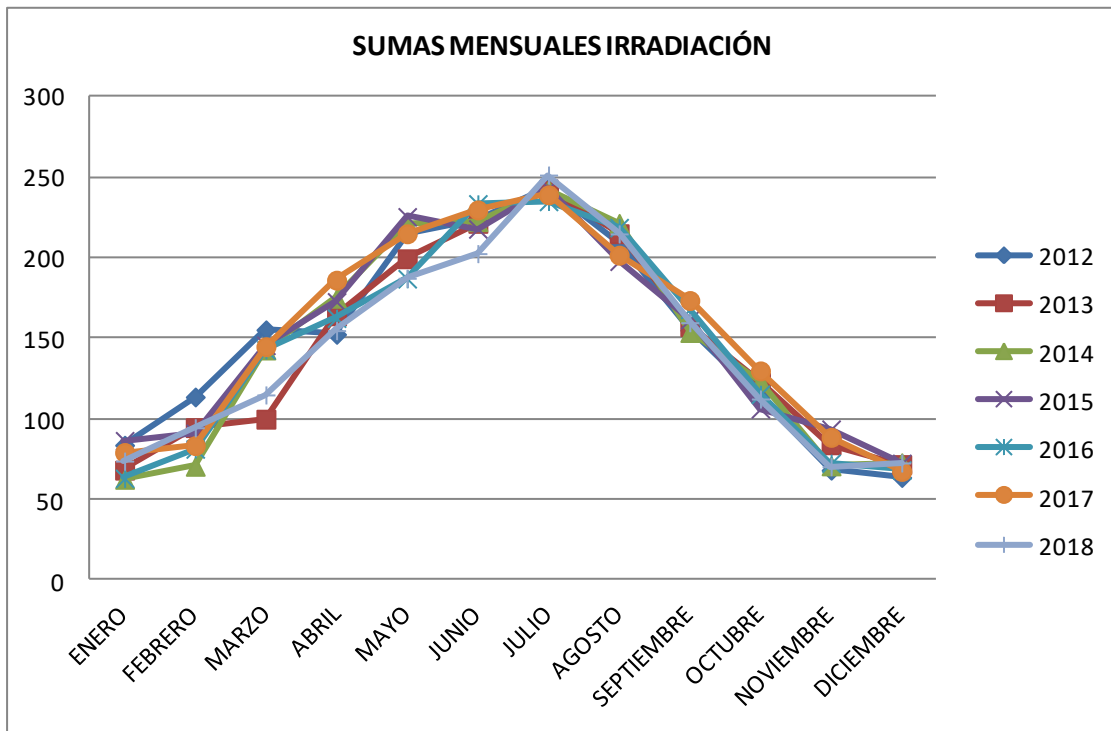


Figura 64. Sumas mensuales de la irradiación en Ciudad Real (kWh/m2/mes)

## CÁDIZ

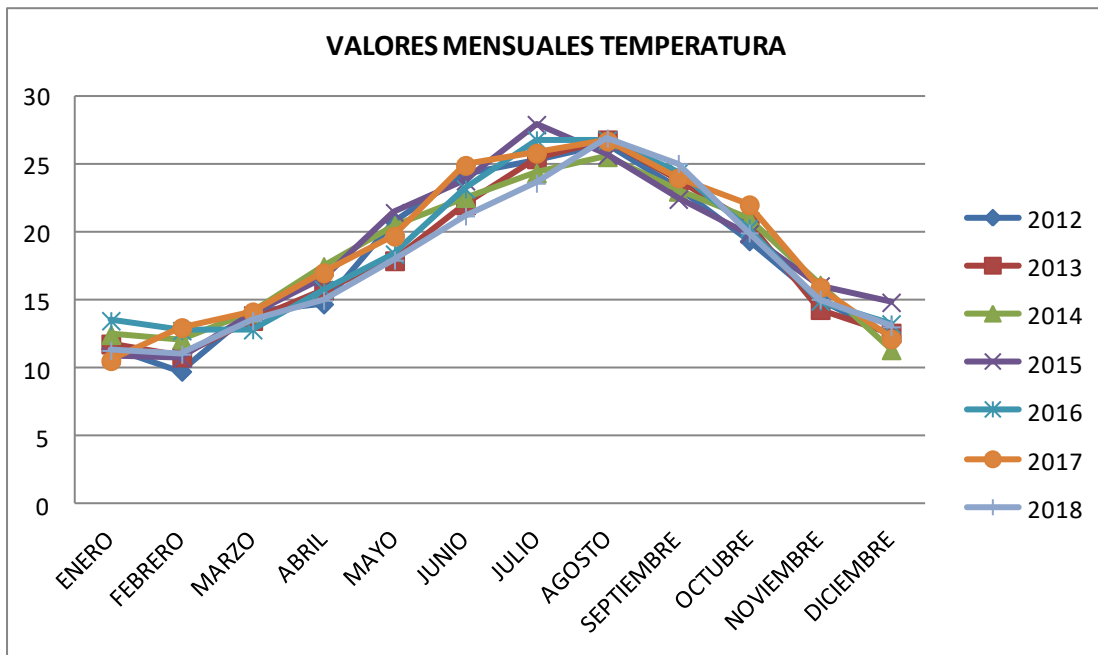


Figura 65. Valores mensuales de la temperatura en Cádiz (°C)

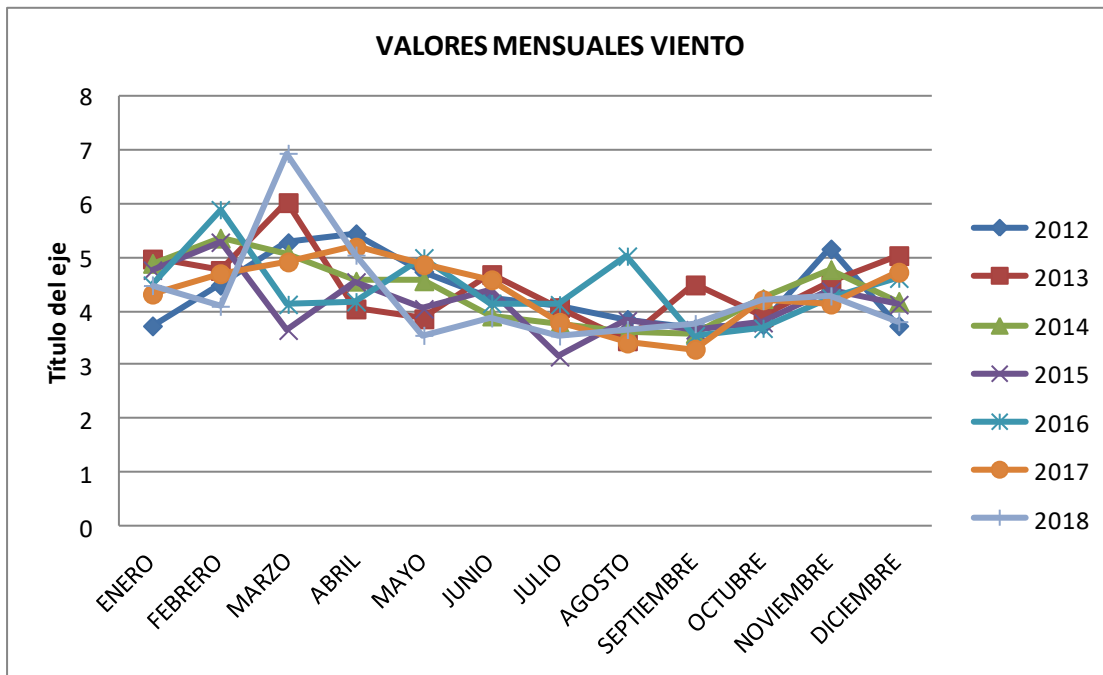


Figura 66. Valores mensuales del viento en Cádiz (m/s)

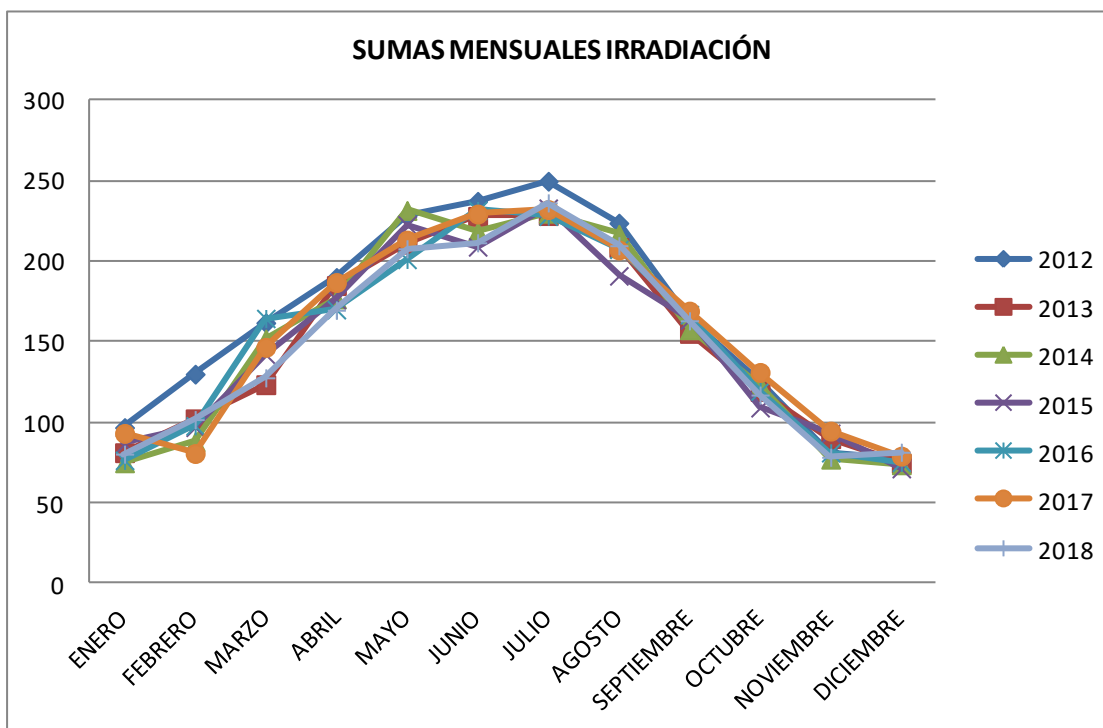


Figura 67. Sumas mensuales de la irradiación en Cádiz (kWh/m2/mes)

BILBAO

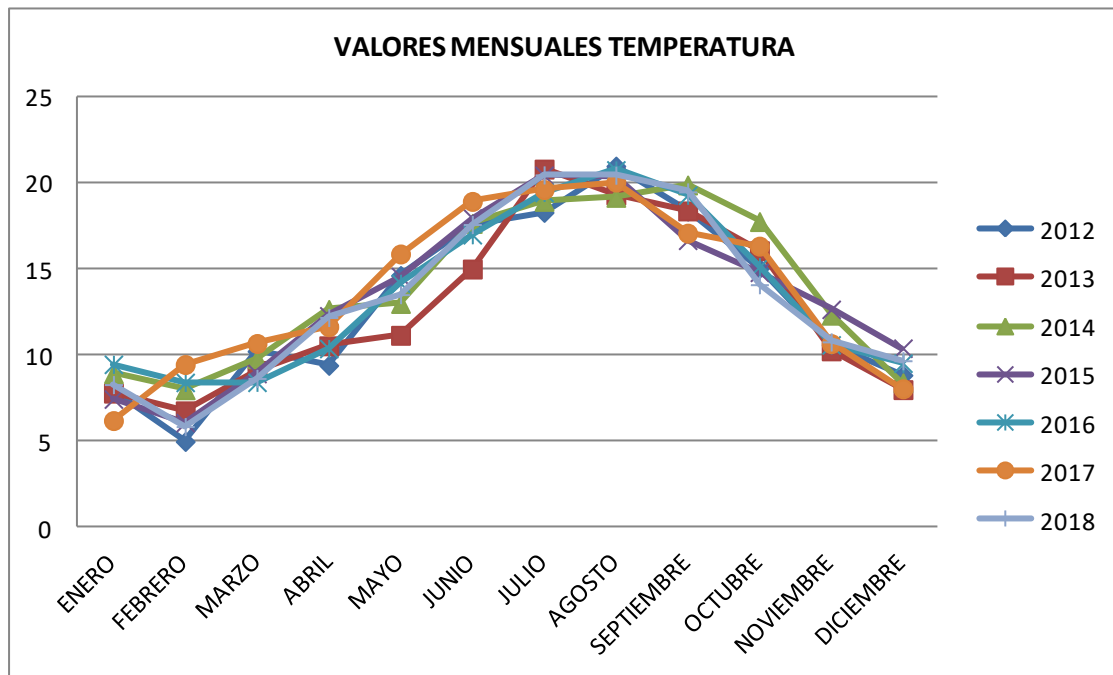


Figura 68. Valores mensuales de la temperatura en Bilbao (°C)

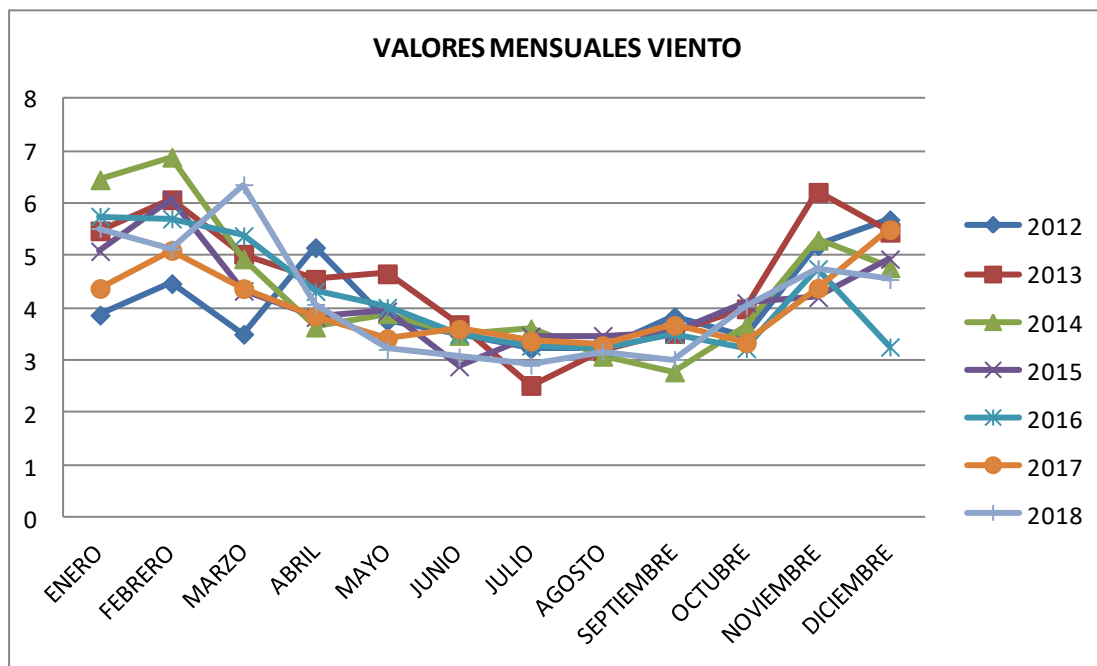


Figura 69. Valores mensuales del viento en Bilbao (m/s)

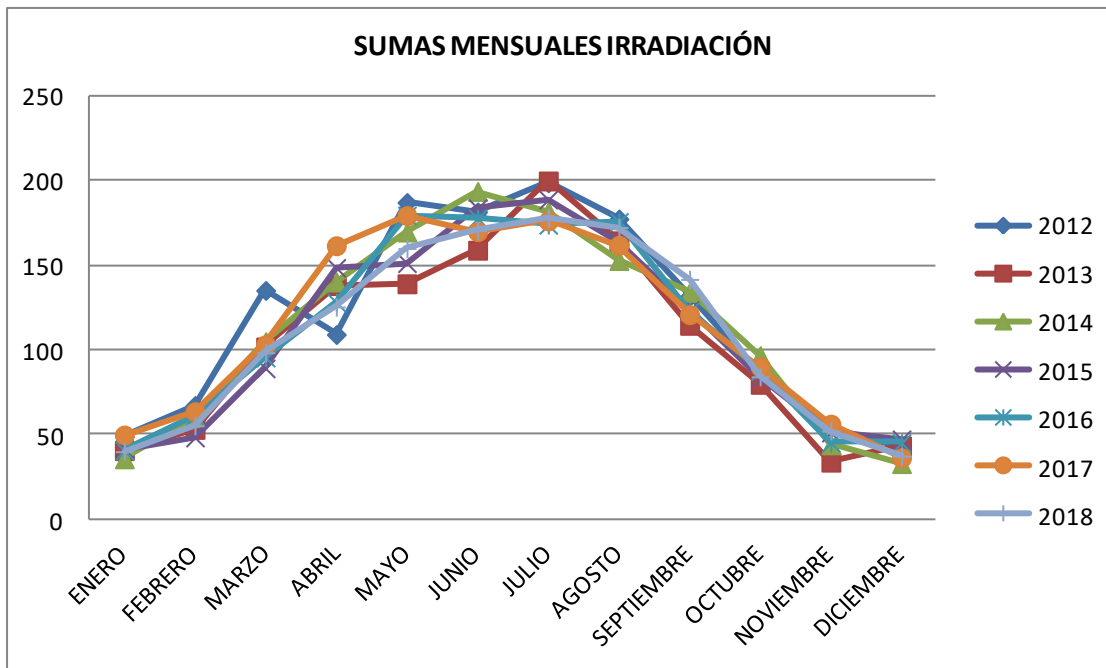


Figura 70. Sumas mensuales de la irradiación en Bilbao (kWh/m2/mes)

## BARCELONA

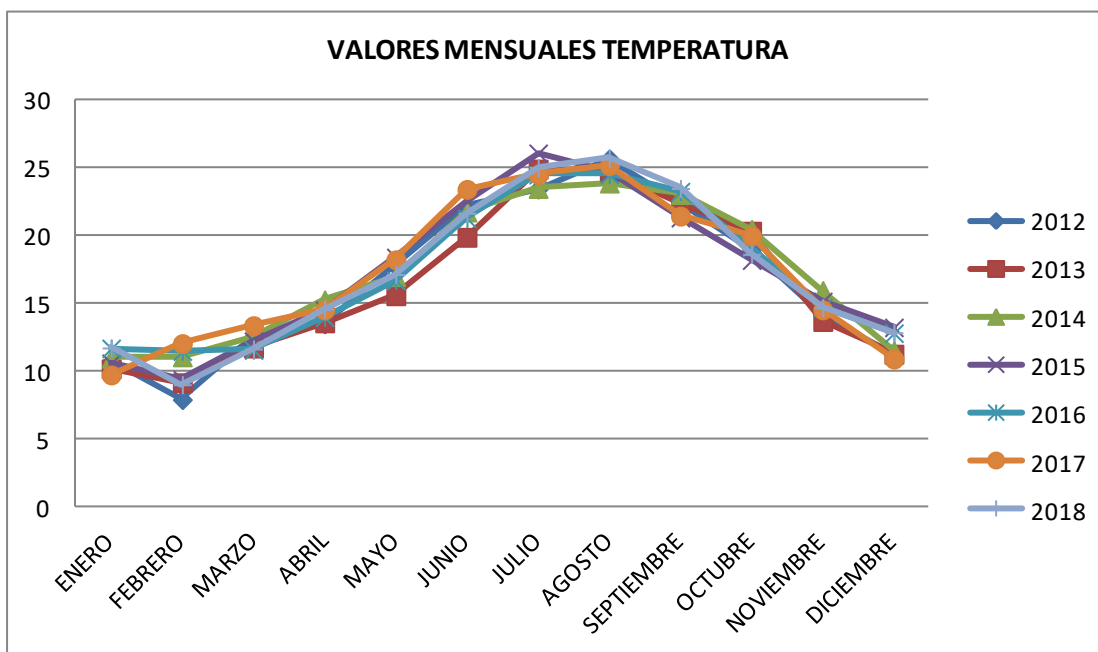


Figura 71. Valores mensuales de la temperatura en Barcelona (°C)

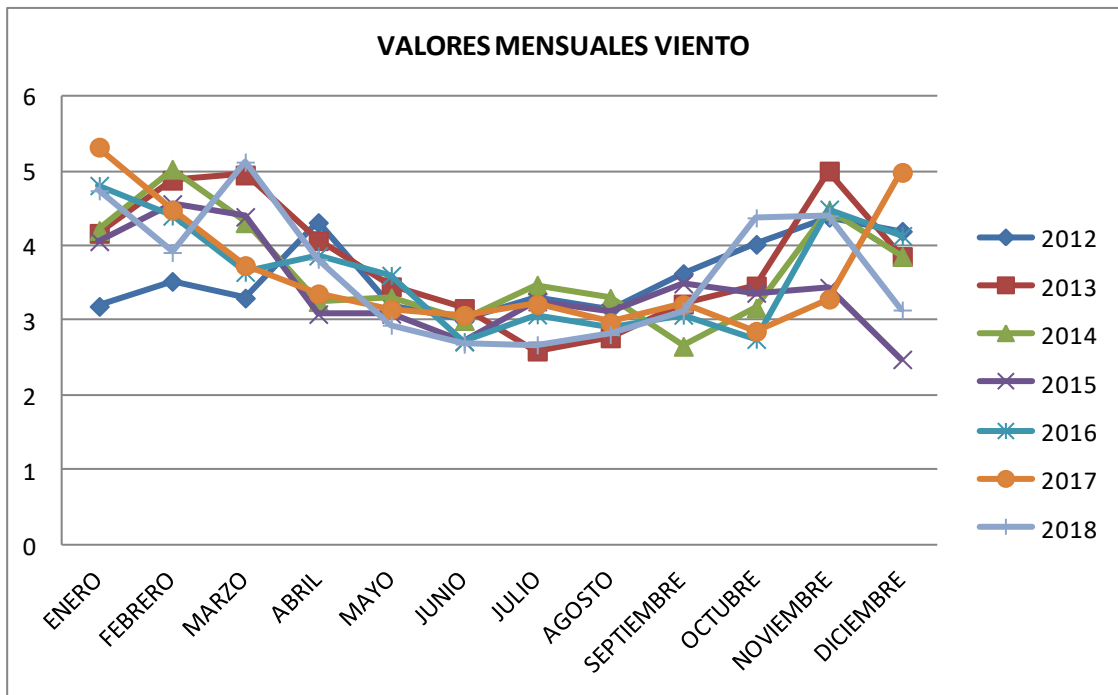


Figura 72. Valores mensuales del viento en Barcelona (m/s)

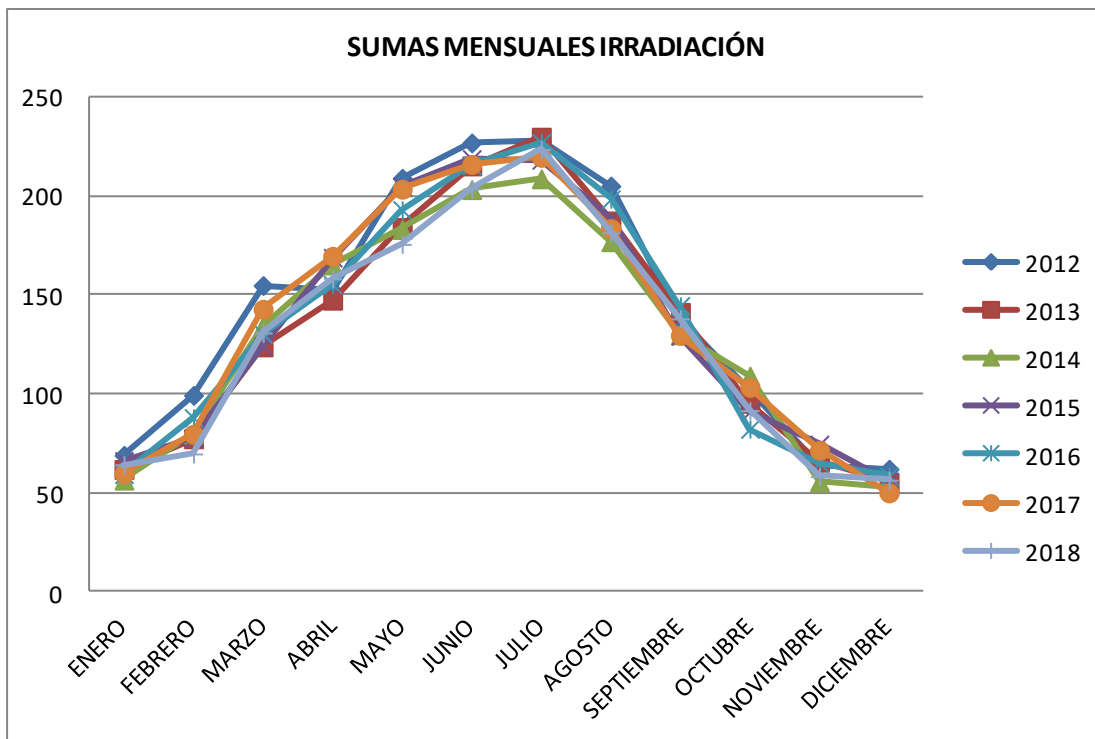


Figura 73. Sumas mensuales de la irradiación en Barcelona (kWh/m2/mes)

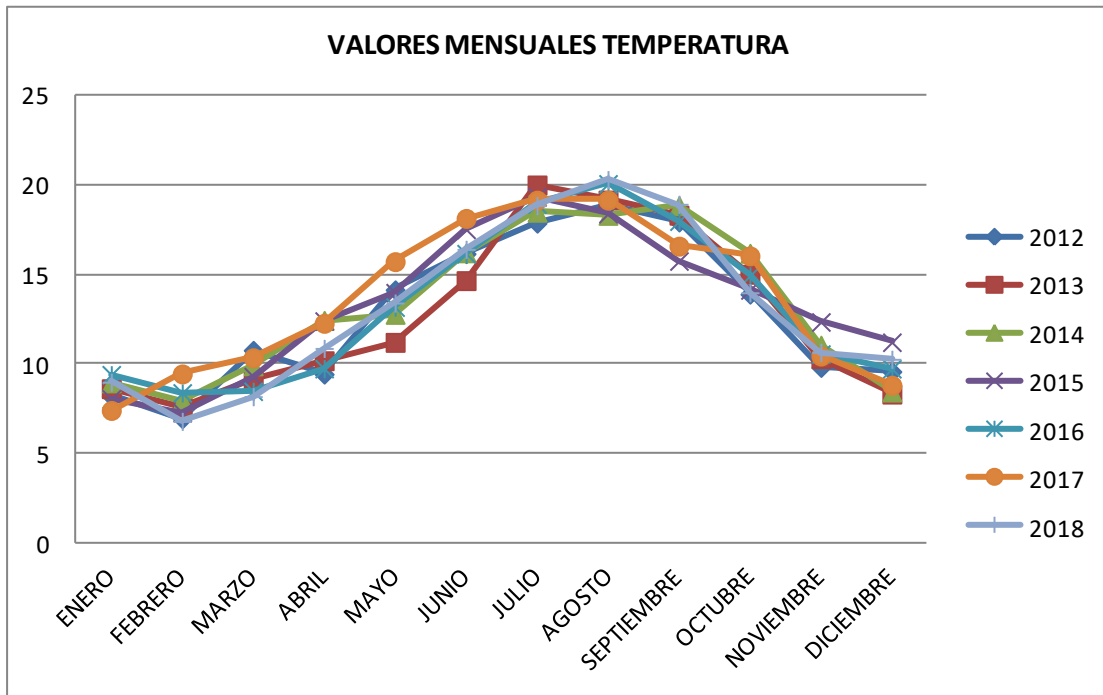


Figura 74. Valores mensuales de la temperatura en A Coruña (°C)

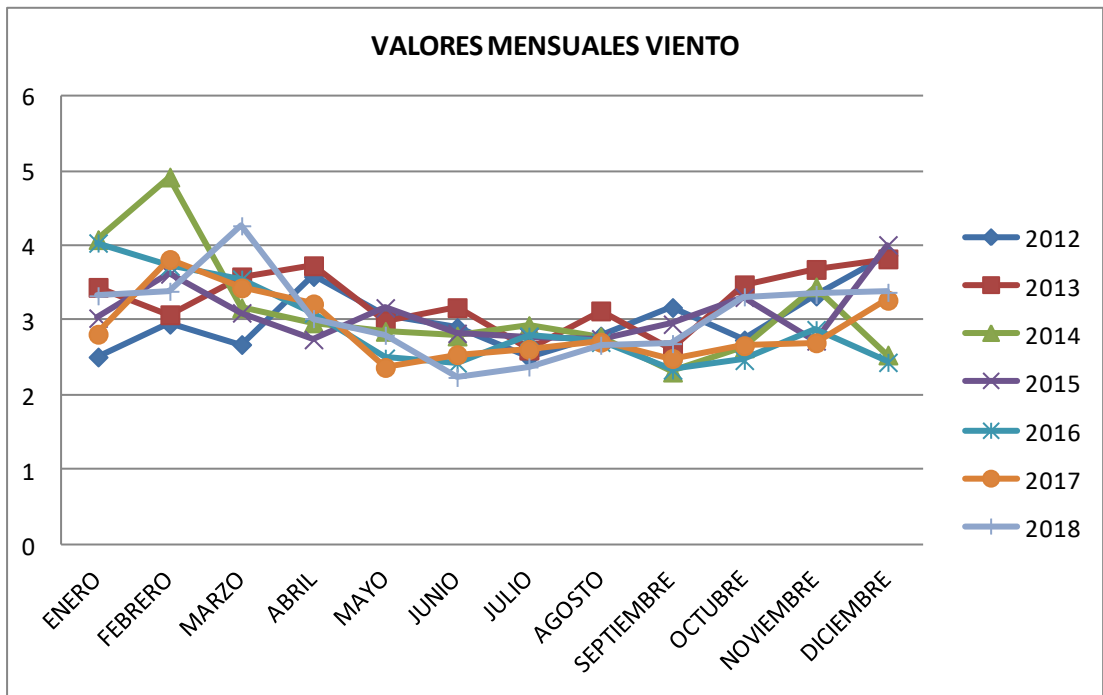


Figura 75. Valores mensuales del viento en A Coruña (m/s)



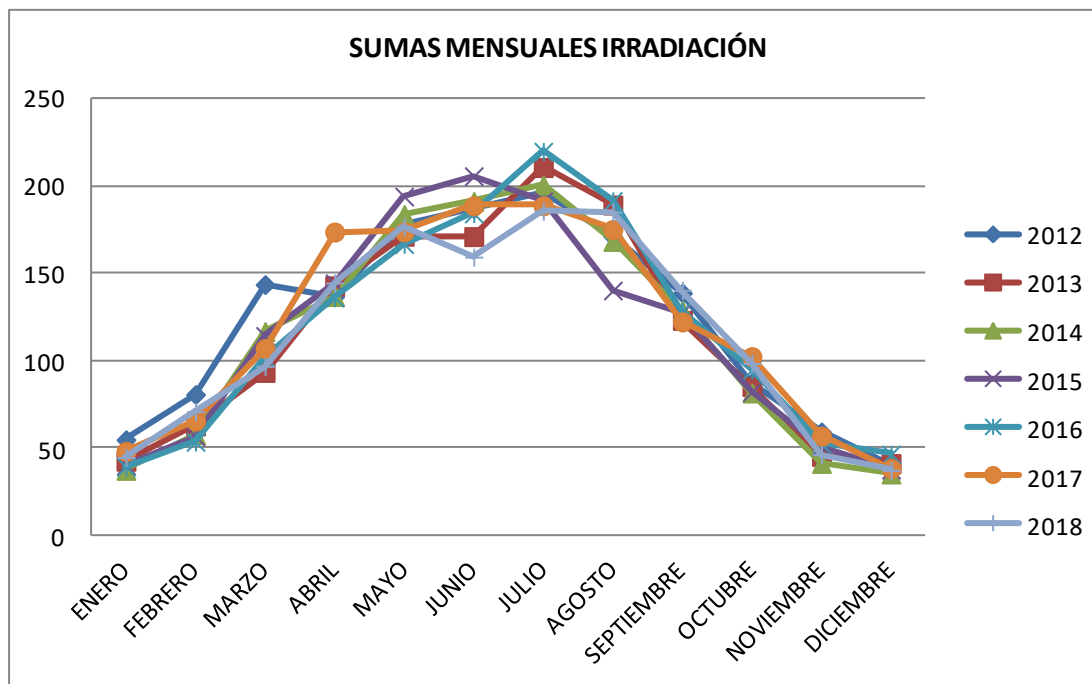


Figura 76. Sumas mensuales de la irradiación en A Coruña (kWh/m2/mes)

Para las ciudades de Brasil debemos saber que este país se localiza en el hemisferio sur por lo que las estaciones del año son diferentes a las correspondientes a España. Es por ello que los meses de mayor calor en España pasan a ser los que obtienen valores medios mensuales más bajos en Brasil y viceversa.

#### AMAPA

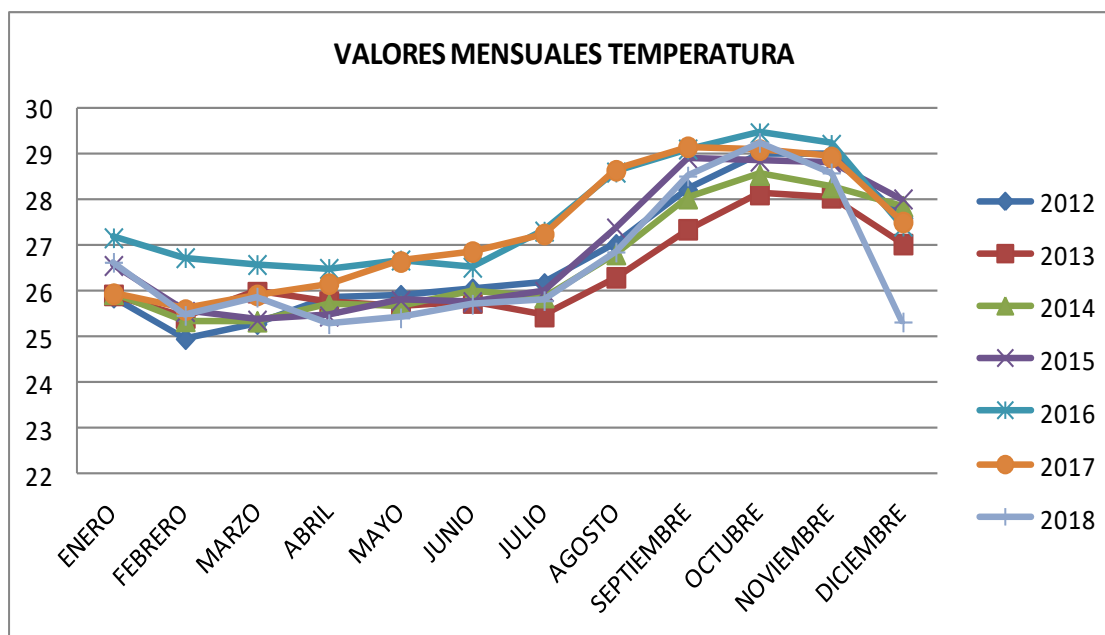


Figura 77. Valores mensuales de la temperatura en Amapa (°C)

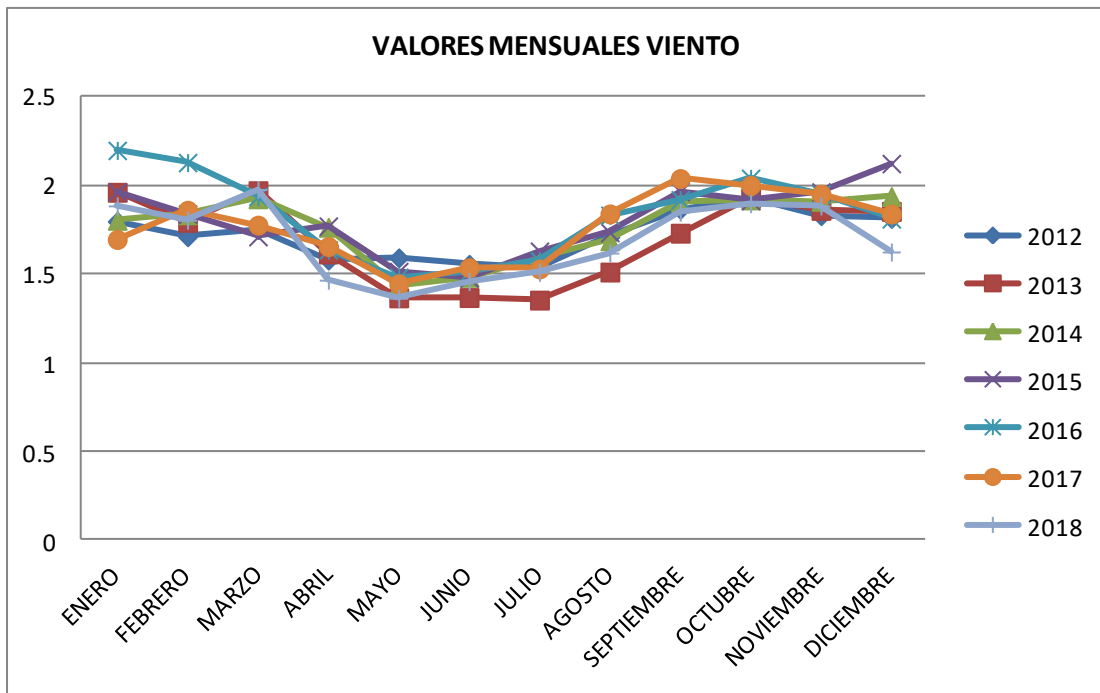


Figura 78. Valores mensuales del viento en Amapa (m/s)

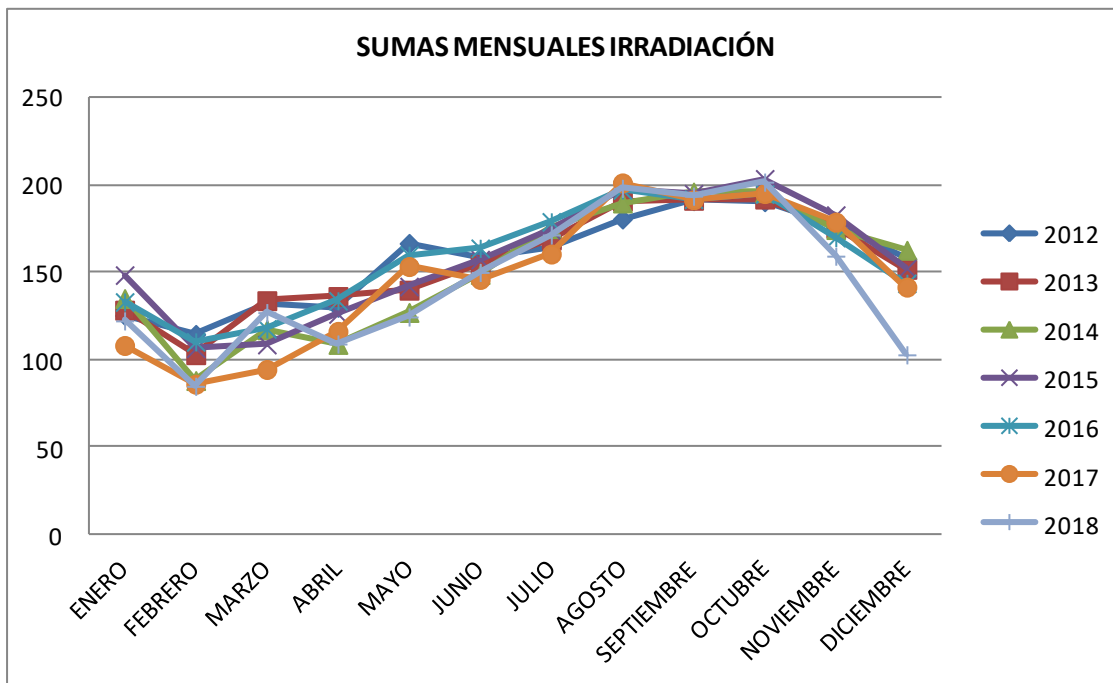


Figura 79. Sumas mensuales de la irradiación en Amapa (kWh/m2/mes)

BALSAS

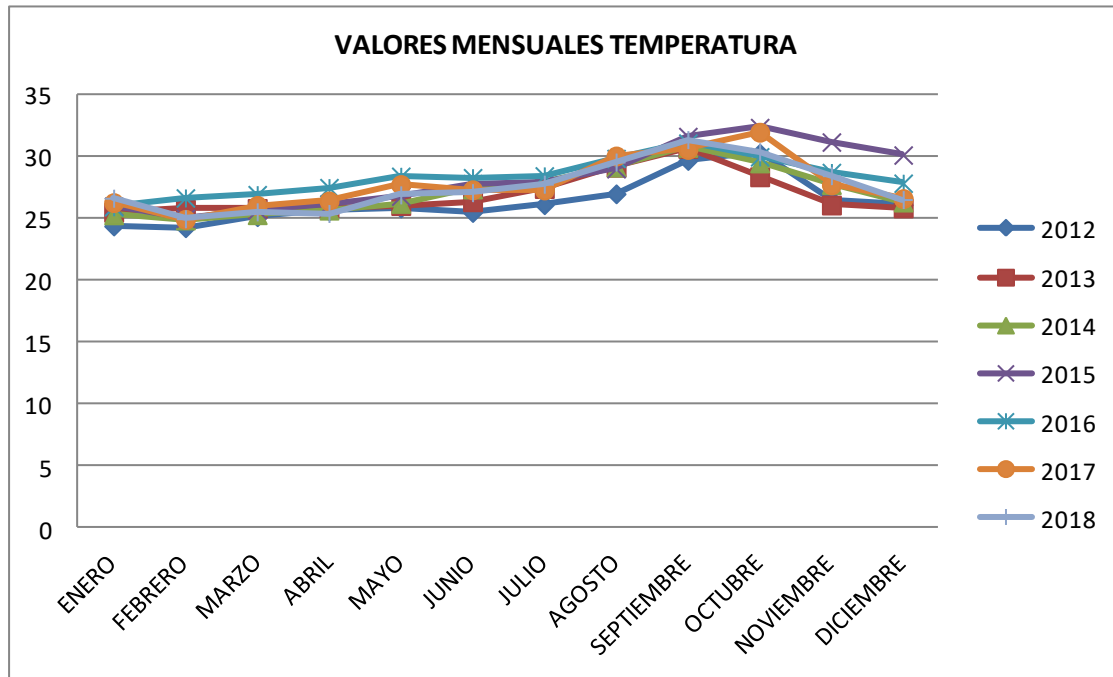


Figura 80. Valores mensuales de la temperatura en Balsas (°C)

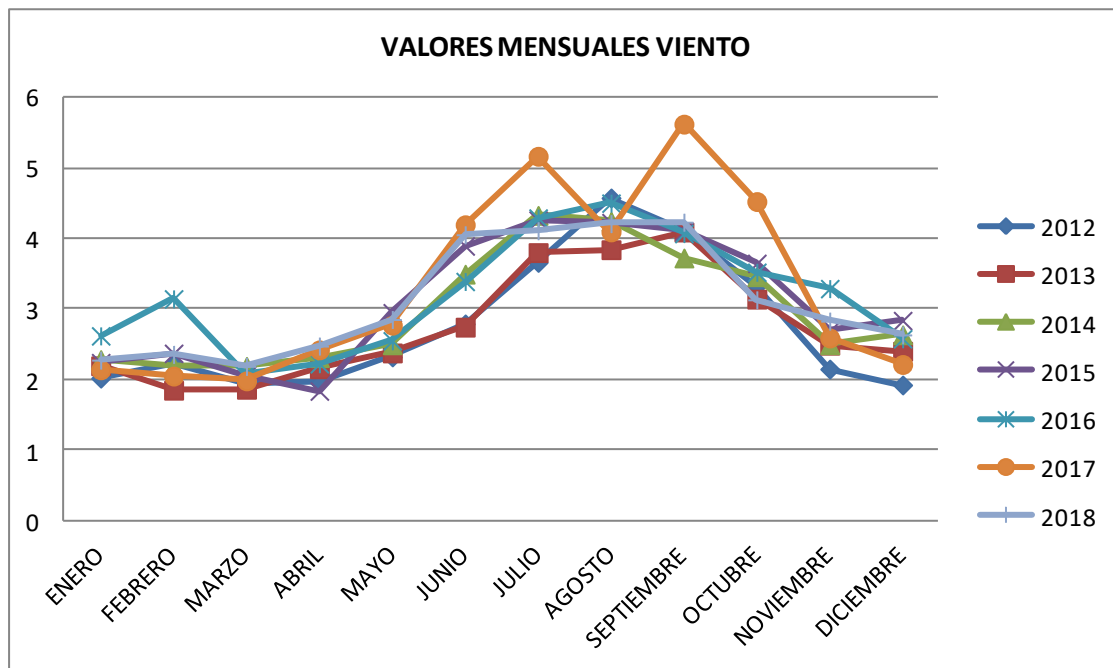


Figura 81. Valores mensuales del viento en Balsas (m/s)

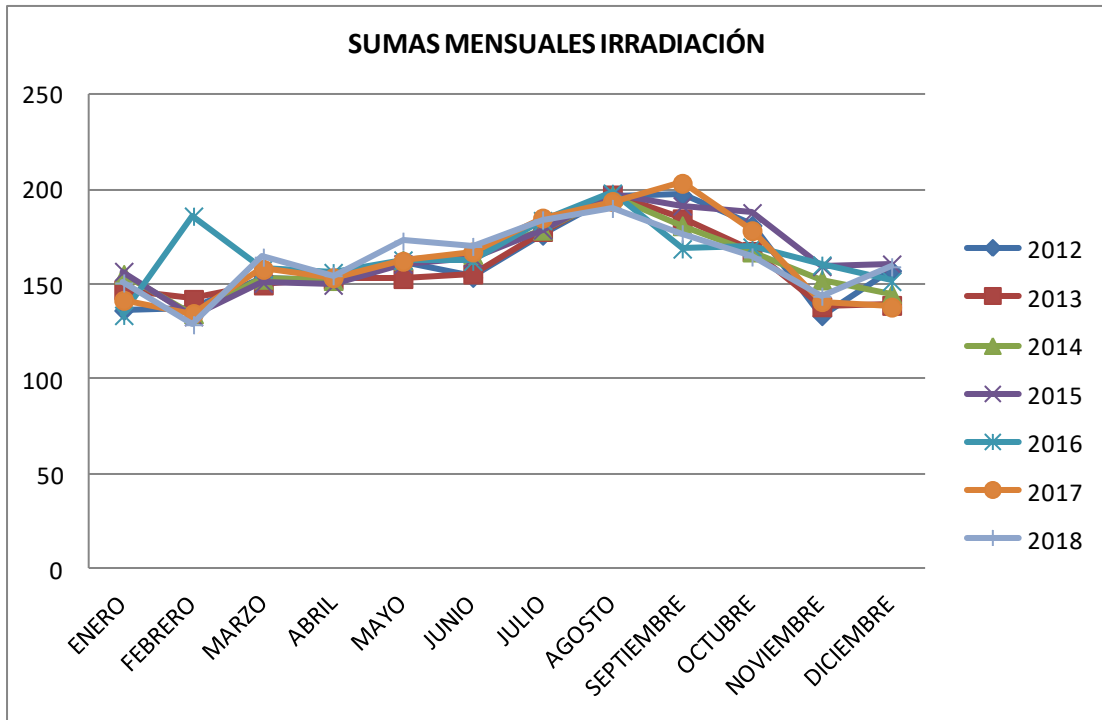


Figura 82. Sumas mensuales de la irradiación en Balsas (kWh/m2/mes)

## CAMPO GRANDE

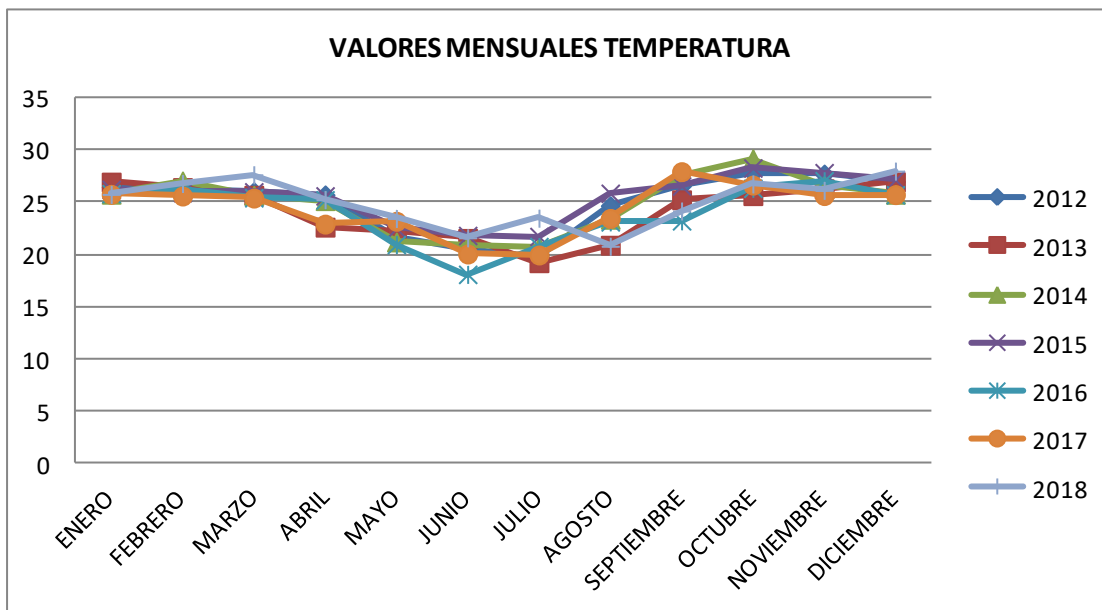


Figura 83. Valores mensuales de la temperatura en Campo Grande (m/s)

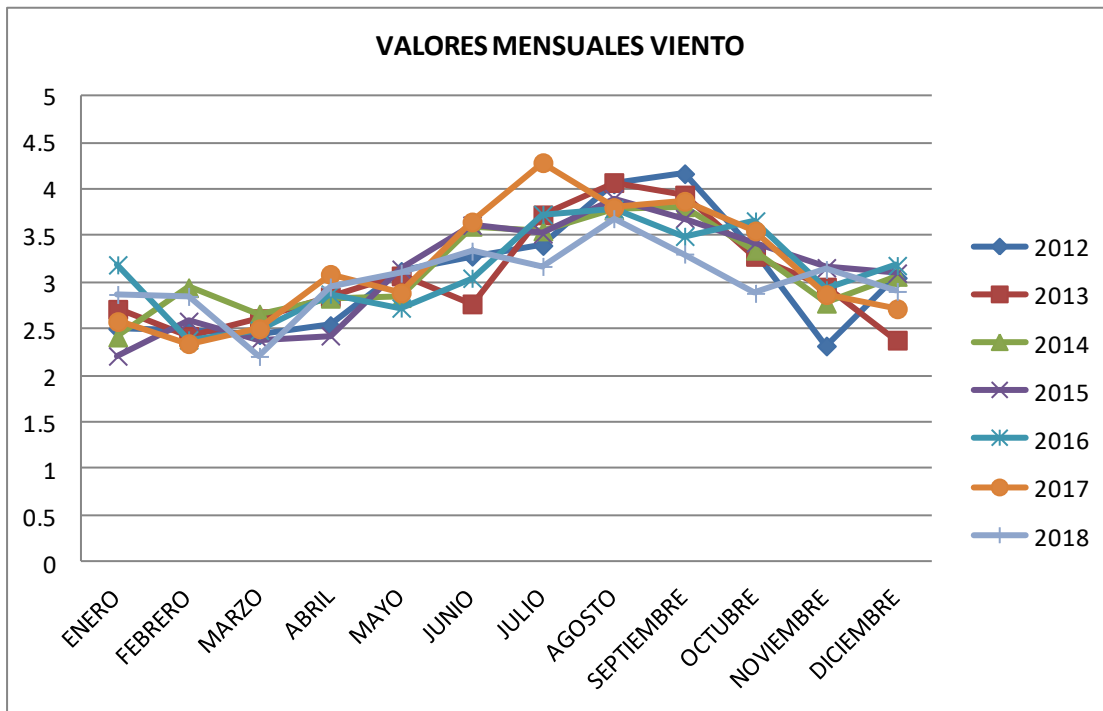


Figura 84. Valores mensuales del viento en Campo Grande (m/s)

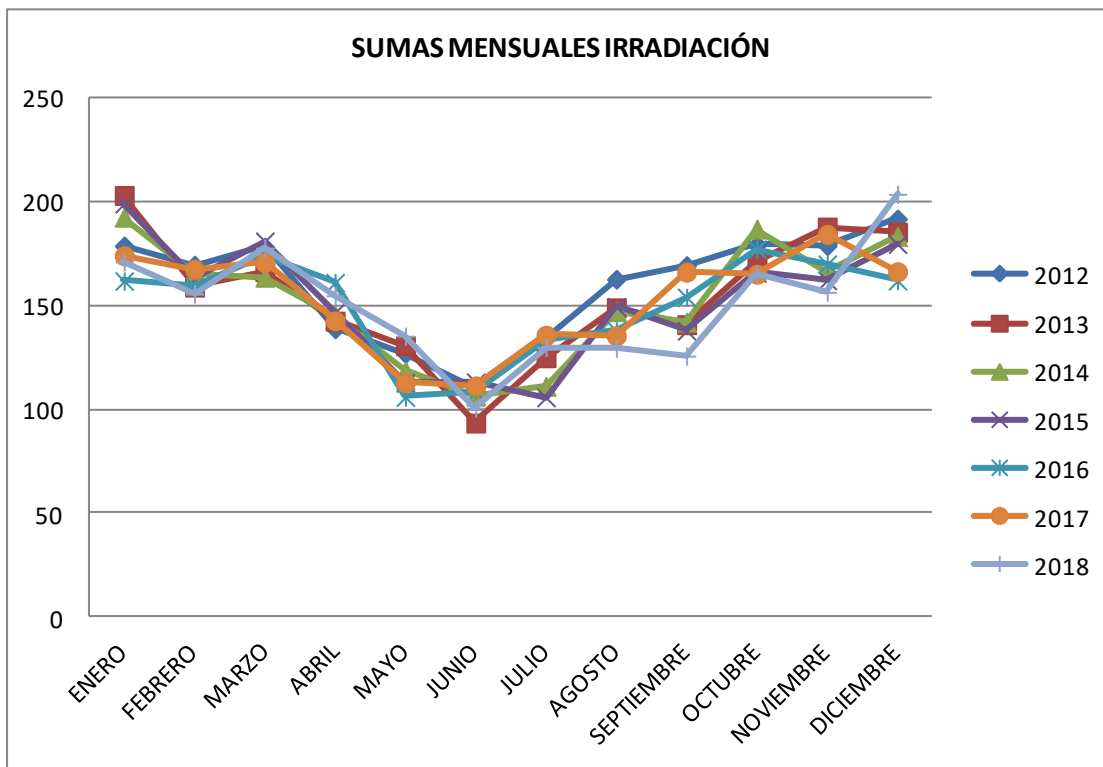


Figura 85. Sumas mensuales de la irradiación en Campo Grande (kWh/m2/mes)

RÍO DE JANEIRO

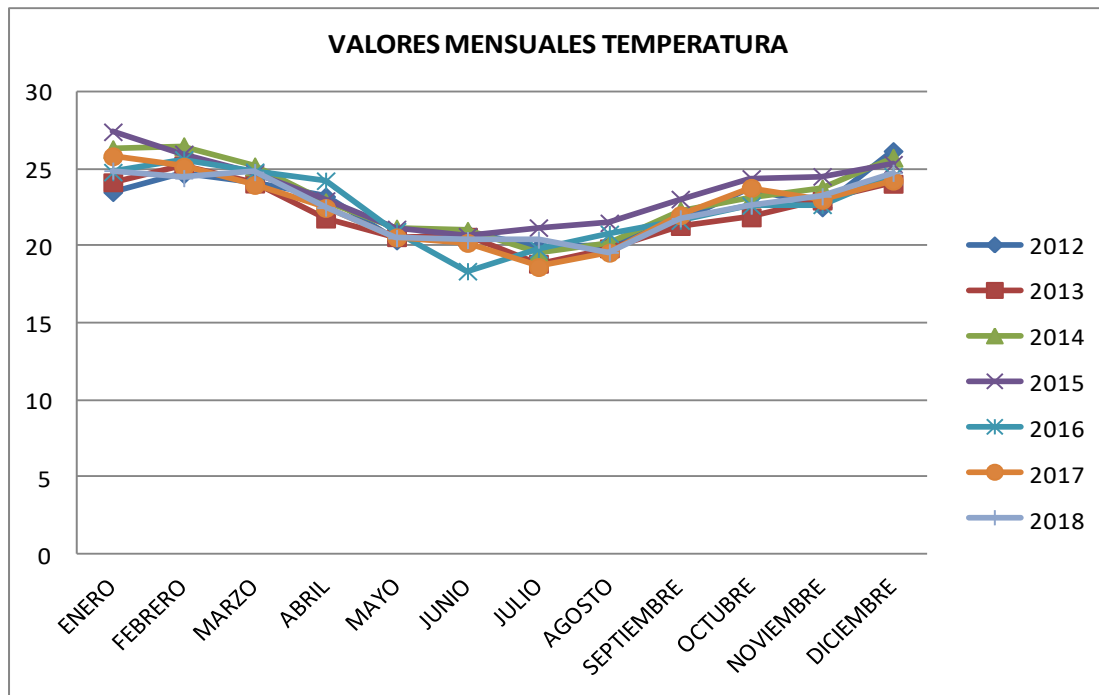


Figura 86. Valores mensuales de la temperatura en Río de Janeiro (°C)

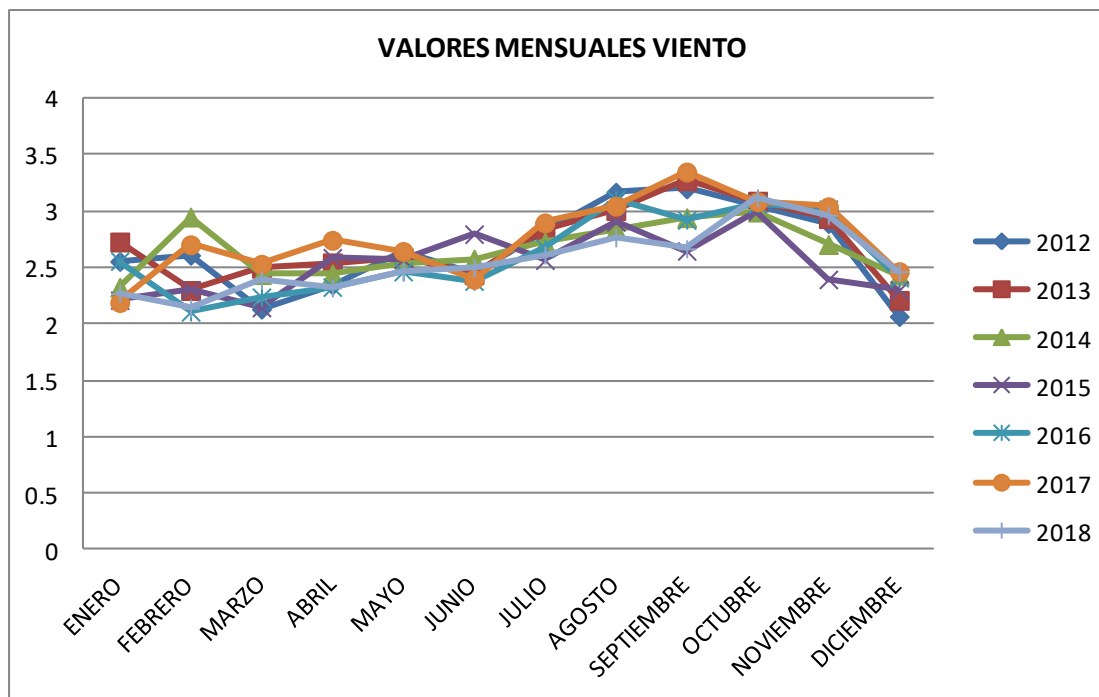


Figura 87. Valores mensuales del viento en Río de Janeiro (m/s)

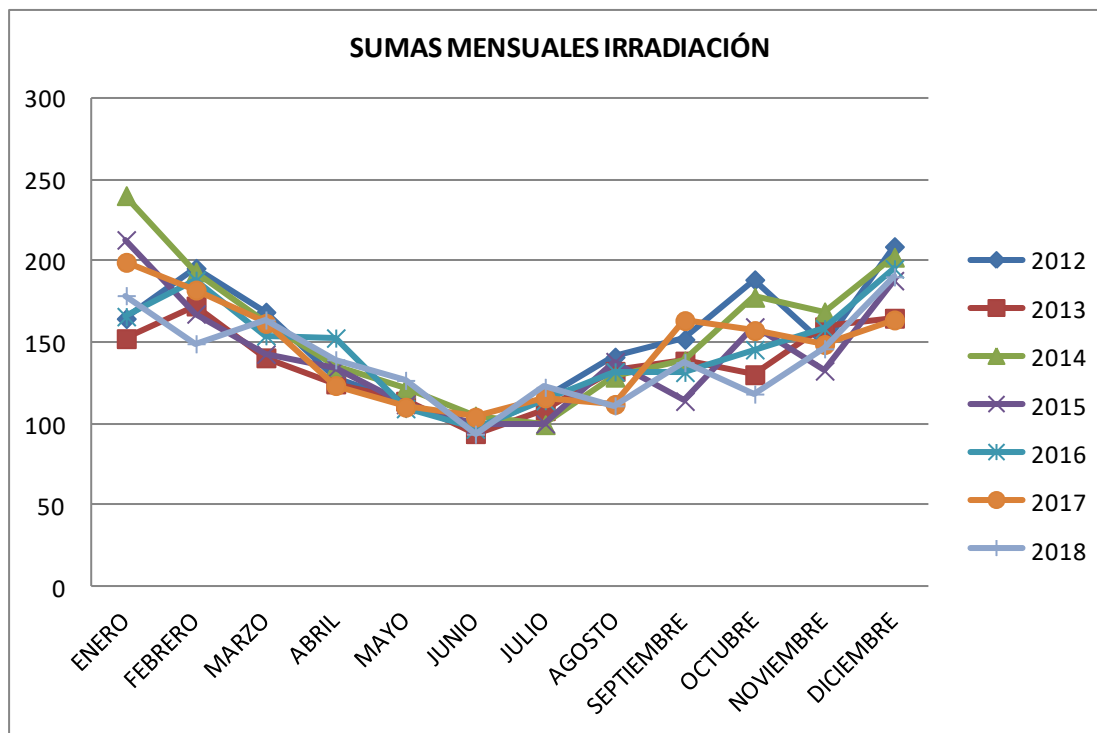


Figura 88. Sumas mensuales de la irradiación en Río de Janeiro (kWh/m2/mes)

## SAO PAULO

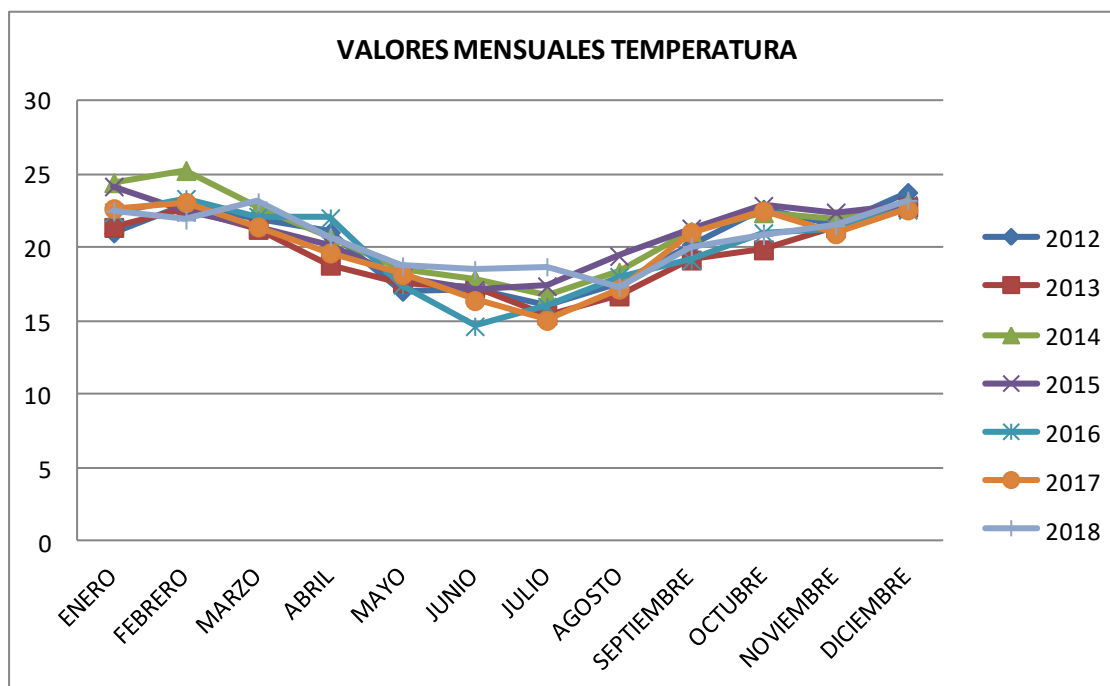


Figura 89. Valores mensuales de la temperatura en Sao Paulo (°C)

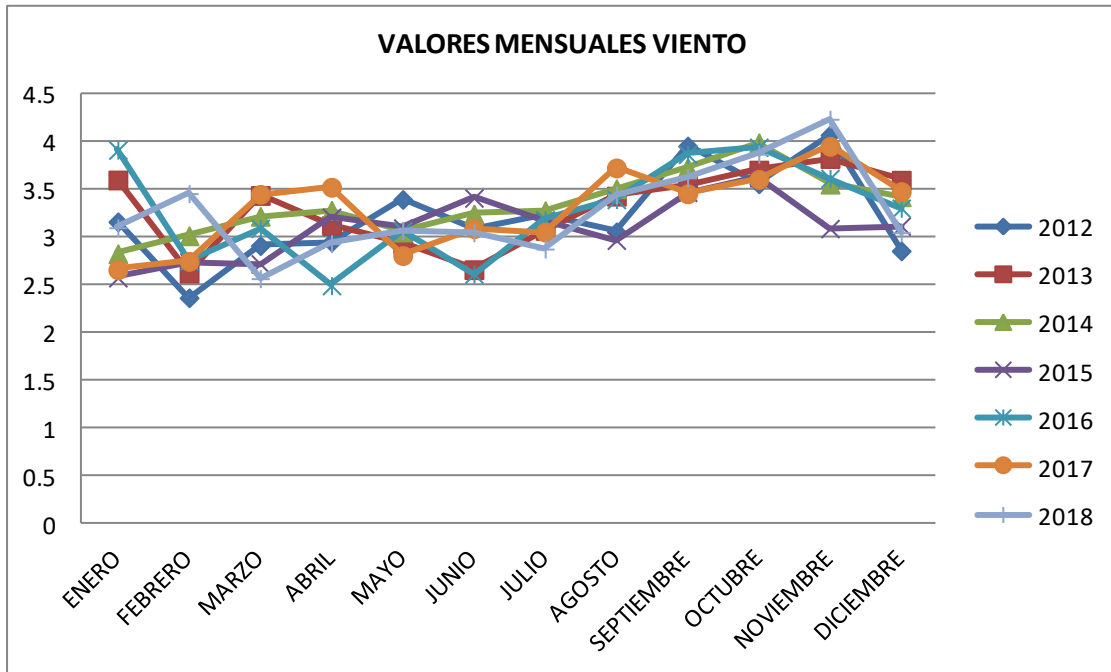


Figura 90. . Valores mensuales del viento en Sao Paolo (m/s)

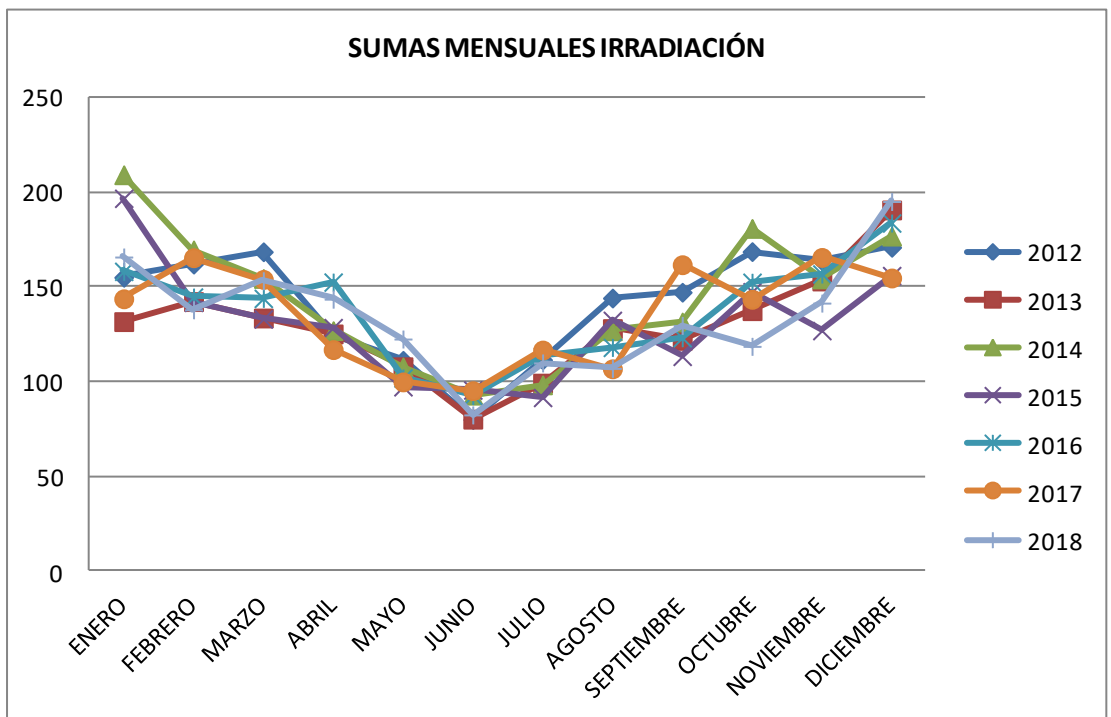


Figura 91. Sumas mensuales de la irradiación en Sao Paolo (kWh/m2/mes)



## ANEXO 9. OTROS RESULTADOS

Por último se presenta un pequeño estudio adicional de algunas de las ciudades tratadas que se fundamenta en comparaciones entre las dos bases de datos de forma mensual. De esta forma podemos observar si las conclusiones extraídas de forma anual también se pueden extraer de forma mensual.

### VALENCIA

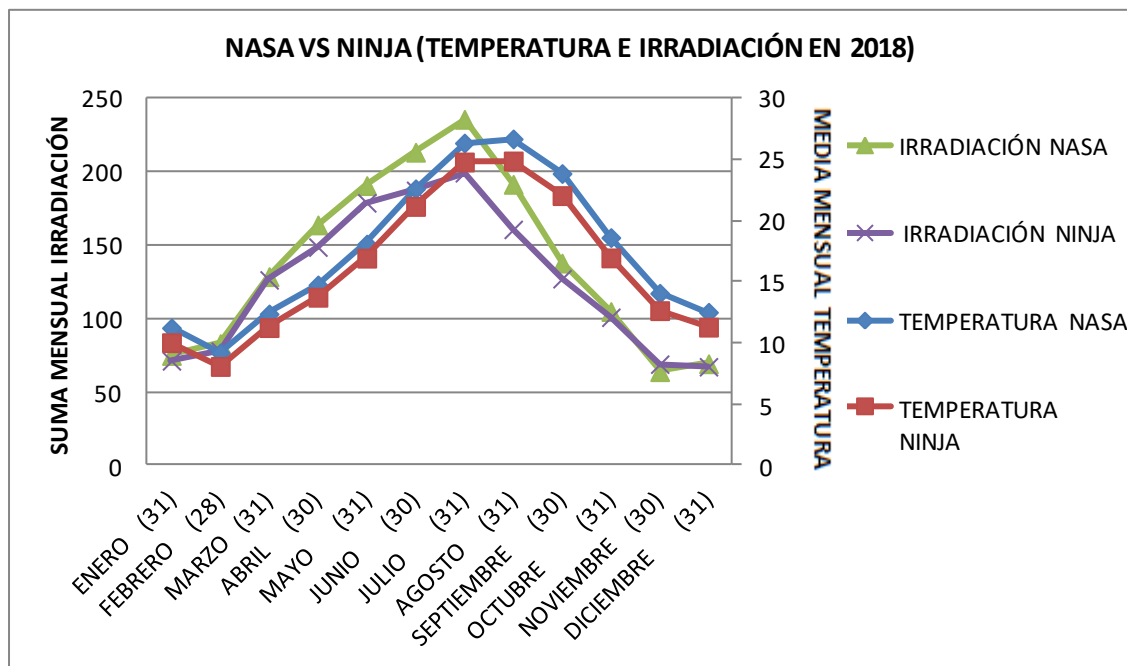


Figura 92. Comparativa NASA frente a Ninja en temperatura (°C) e irradiación (kWh/m2/mes) en valores mensuales

Se ha realizado una comparación en la media mensual de la temperatura y la suma mensual de la irradiación del año 2018 en la ciudad de Valencia en la que se aprecia como la NASA proporciona valores superiores a los de Ninja tanto en temperatura como en irradiación, siendo la diferencia en la irradiación mayor entre las bases. Mismo resultado respecto al resto de años en la capital valenciana.

Este resultado corrobora la conclusión conseguida con las figuras 1 y 2 de la memoria donde NASA proporciona para la ciudad de Valencia valores superiores respecto a Ninja tanto por años como por meses.

## TENERIFE

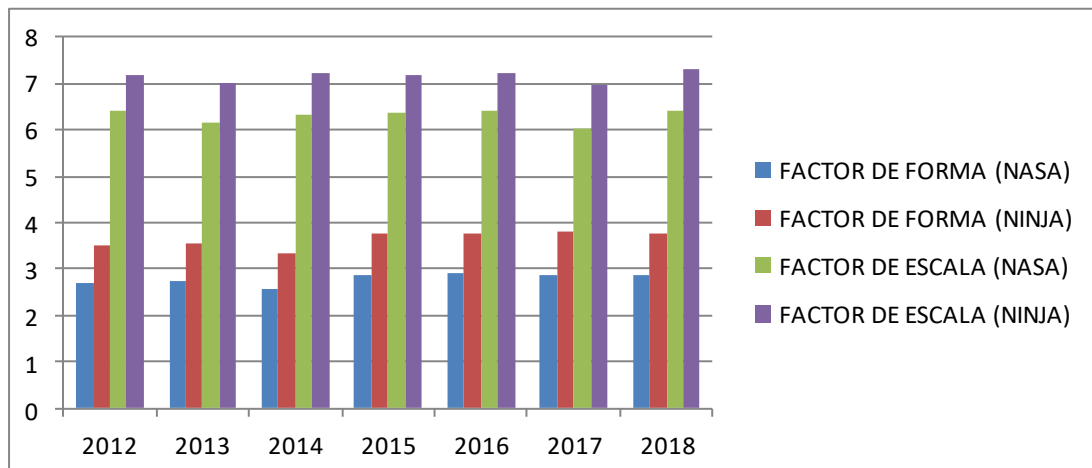


Figura 9392. Comparativa NASA frente a Ninja en el factor de escala y el factor de forma en Tenerife

El estudio mostrado es una comparativa como la realizada en la memoria entre NASA y Ninja en el factor de escala y el factor de forma pero en este caso únicamente de Tenerife. Los valores obtenidos con Ninja son superiores para todos los años respecto a los dos factores.

## SEVILLA

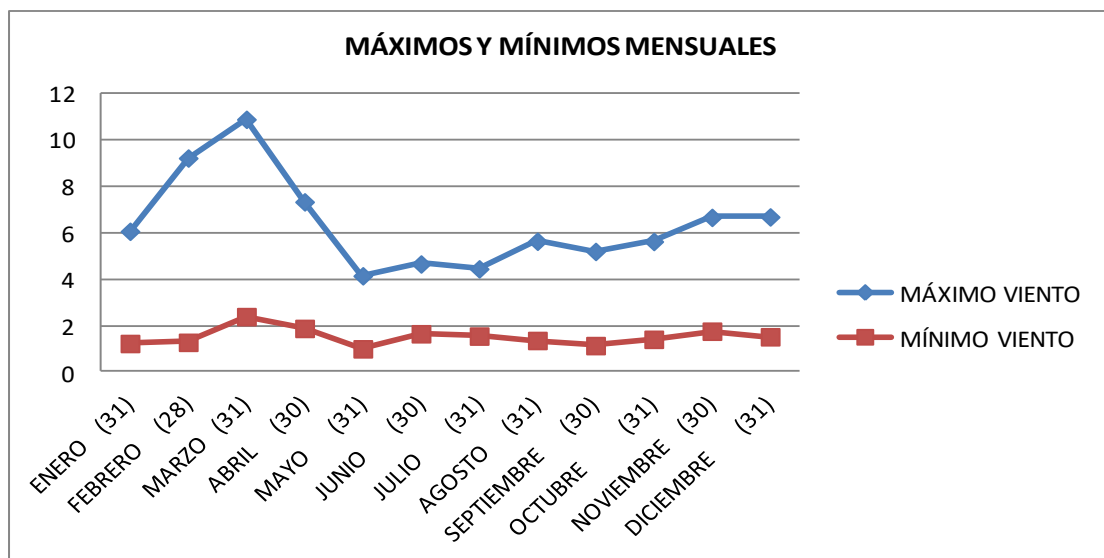


Figura 94. Máximos y mínimos mensuales de la velocidad del viento (m/s) del año 2018 en Sevilla (m/s)

Se representa los valores máximos y los mínimos de cada mes con los datos de NASA para Sevilla. El valor medio de la velocidad del viento obtenido para este año es de 3,33 m/s. Los valores mínimos se sitúan por debajo de esta media y los valores máximos por encima en todo momento.

## SALAMANCA

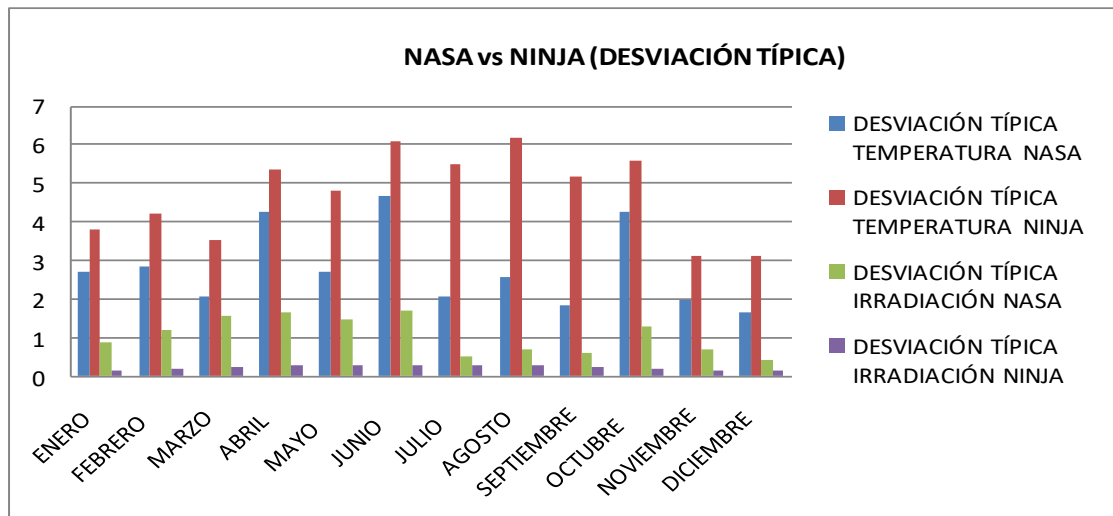


Figura 95. Comparación en la desviación típica mensual, NASA frente a Ninja

El parámetro en estudio es la desviación típica mensual tanto para la temperatura como para la irradiación calculada con los valores de NASA y Ninja.

Respecto a la temperatura Ninja consigue una desviación superior a NASA. Sin embargo, en la irradiación ocurre lo contrario. En la memoria se puede ver cómo, a grandes rasgos, ocurre de forma similar para todas las ciudades estudiadas.

## MÉRIDA

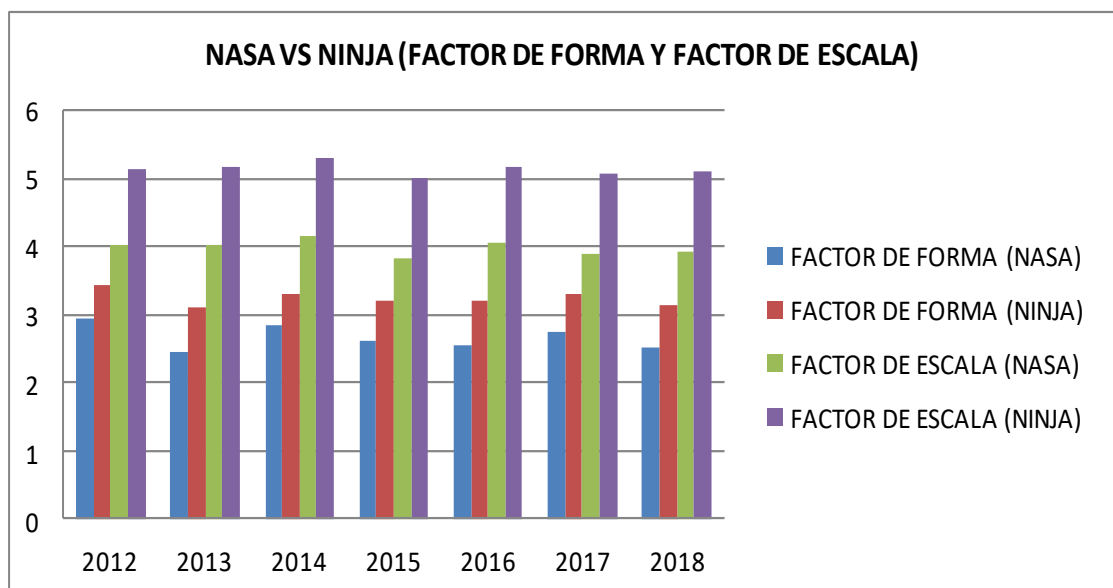


Figura 96. Valores del factor de forma y el factor de escala mensuales, NASA frente Ninja

En los estudios realizados anteriormente se ha comprobado como Ninja proporciona datos con los que el factor de forma y el factor de escala se colocan por encima de los calculados a través de NASA para todos los años analizados.

Este estudio de la ciudad de Mérida corrobora dicha afirmación aportando los valores de cada parámetro para cada uno de los años.

### MADRID

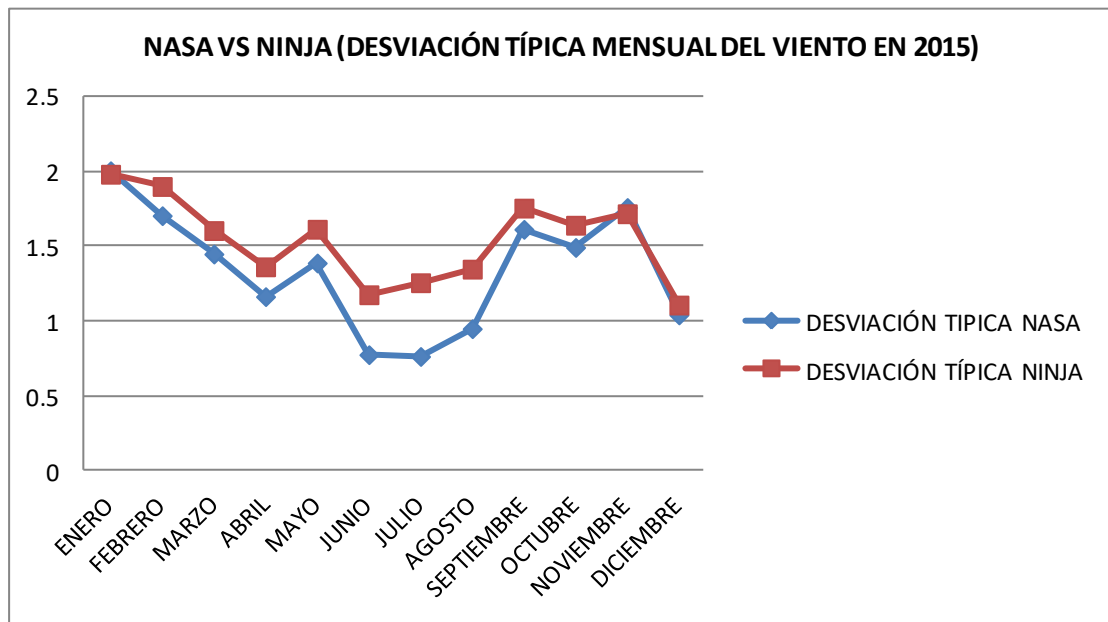


Figura 97. Comparación en la desviación típica mensual del viento en el 2015

En la comparación anual realizada en la memoria se comprobaba como los valores de NASA eran inferiores para todos los años respecto a Ninja. Ahora se realiza un estudio del año 2015 para ver si sucede lo mismo durante todos los meses. Efectivamente los valores mensuales de la desviación típica de Ninja son superiores respecto a la NASA.

### LEÓN

En León se ha querido hacer una comparación entre NASA y Ninja de la temperatura e irradiación pero en este caso de manera mensual del año 2012.

Se comprueba como NASA da valores superiores en irradiación mientras que en temperatura (con diferencias prácticamente despreciables) Ninja es la que proporciona valores superiores a NASA.

Se reafirma por lo tanto la base que da datos superiores para cada parámetro meteorológico de forma anual y de forma mensual.

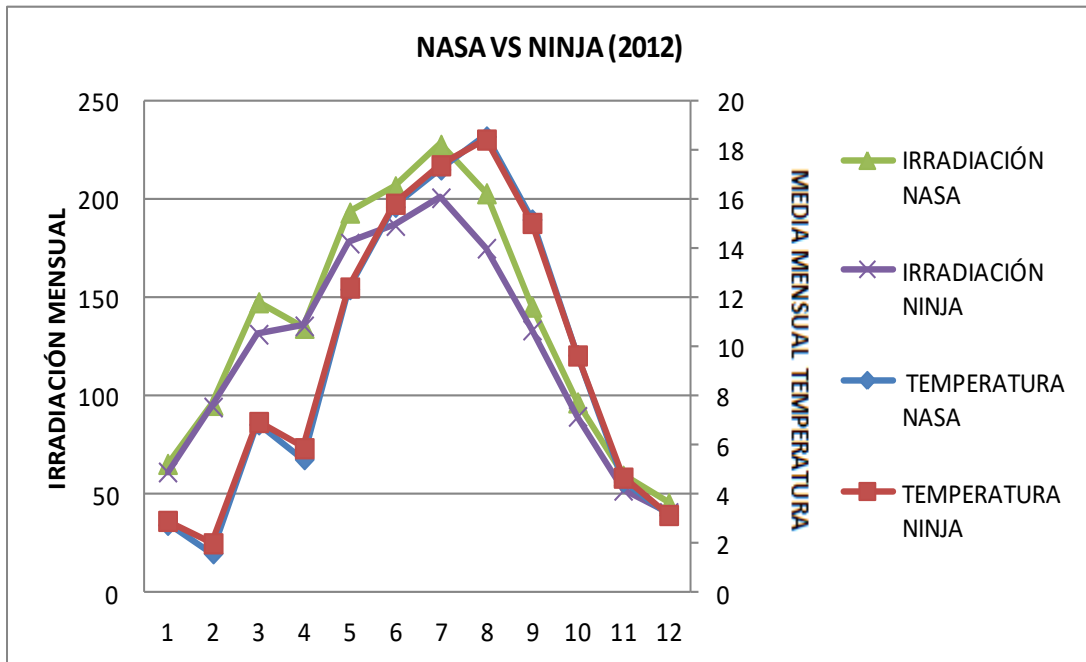


Figura 98. Irradiación mensual (kWh/m2/mes) y temperatura mensual (°C), NASA frente a Ninja

## CUENCA

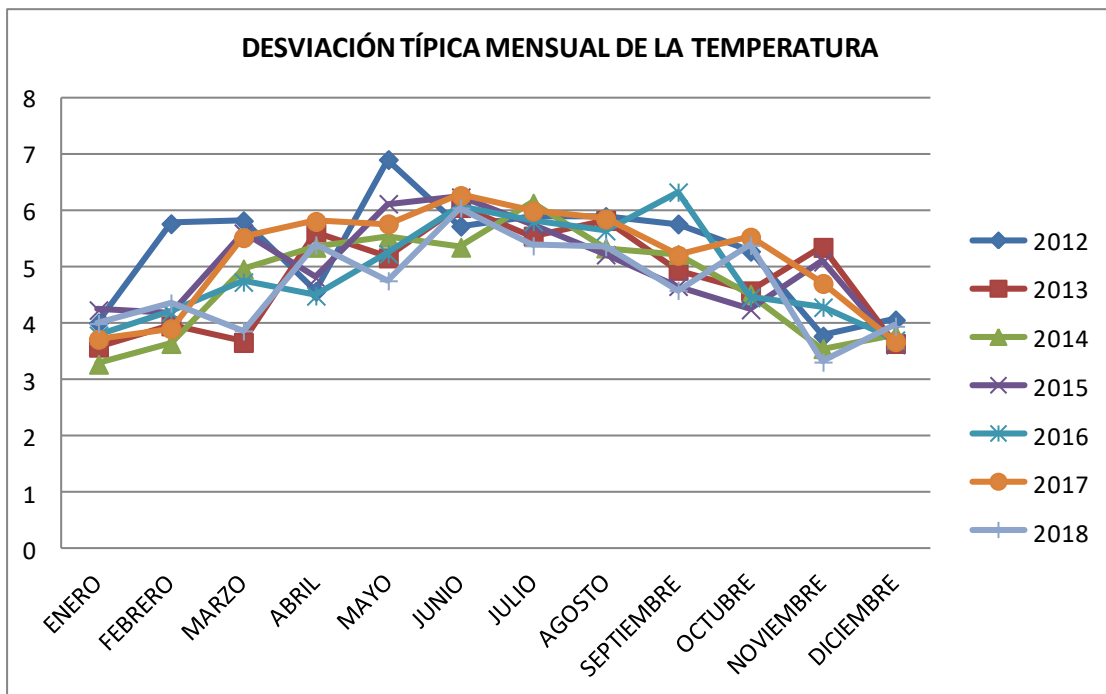


Figura 99. Desviación típica mensual en Cuenca con los datos de Ninja.

Se ha realizado este análisis únicamente para ver cómo se comporta la temperatura respecto a la desviación típica a lo largo de los años estudiados. Los primeros y los últimos meses son aquellos con valores más pequeños.

### CIUDAD REAL

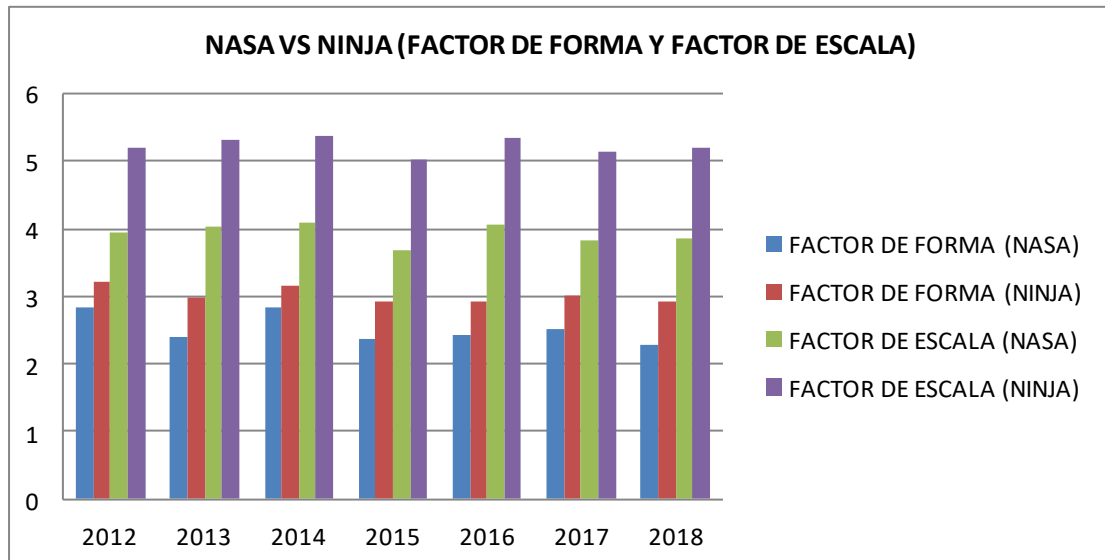


Figura 100. Factor de escala y factor de forma, NASA frente a Ninja

Estudio similar al de la memoria pero dando valores de cada año respecto a Ciudad Real.

Ninja supera en valores de los factores de forma y factores de escala para todos los años estudiados.

### CÁDIZ

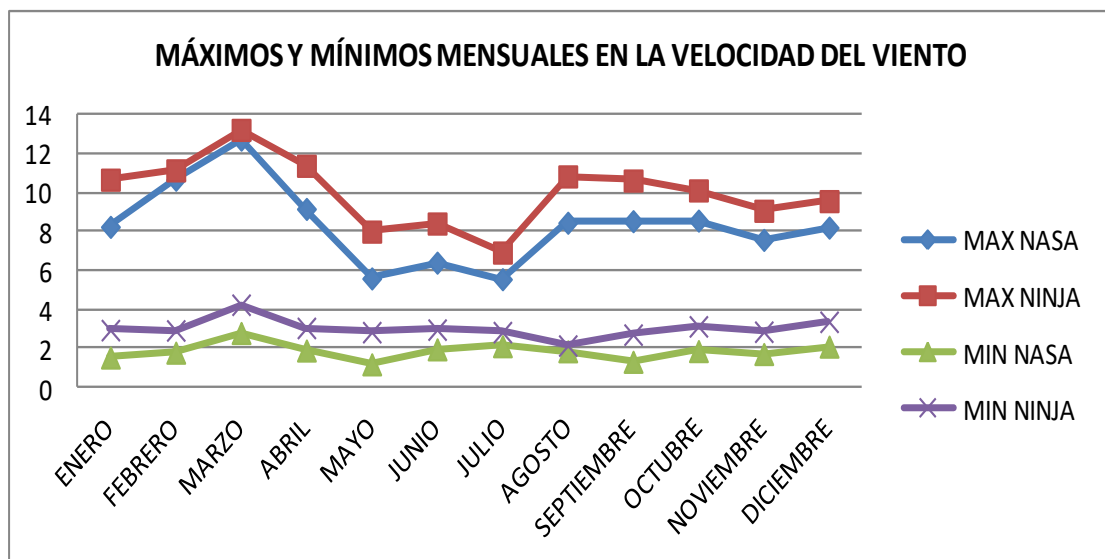


Figura 101. Máximos y mínimos mensuales de la velocidad del viento (m/s) en el 2018, NASA frente a Ninja.

Ninja proporciona valores diarios de la velocidad del viento superiores a NASA en el año 2018 para la ciudad de Cádiz. Entre ellos están los valores máximos y mínimos mensuales, los cuales también cumplen con la afirmación anterior.

## AMAPA

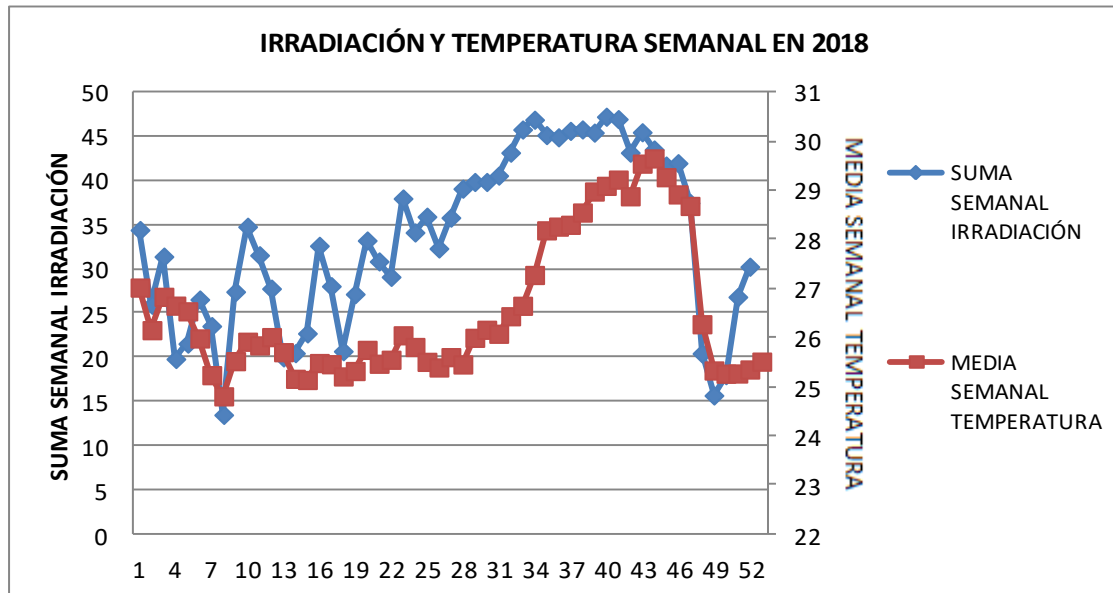


Figura 102. Valores semanales de la irradiación (kWh/m2/mes) y temperatura (°C) en el año 2018 por NASA

También se ha optado por hacer un análisis más concreto temporalmente hablando realizando un análisis por semanas de la temperatura e irradiación en el 2018. Podemos apreciar como a partir de la semana 31 hay una gran subida en ambos parámetros. Se aprecia de esta forma mejor las subidas y bajadas que existen a lo largo del año.

## BALSAS

Como se ha demostrado en los análisis de todas las ciudades, NASA consigue valores del factor de forma superiores a Ninja y viceversa respecto al factor de escala.

En este caso en particular para la ciudad de Balsas se demuestra ello mostrando los valores que se consiguen para cada año analizado.

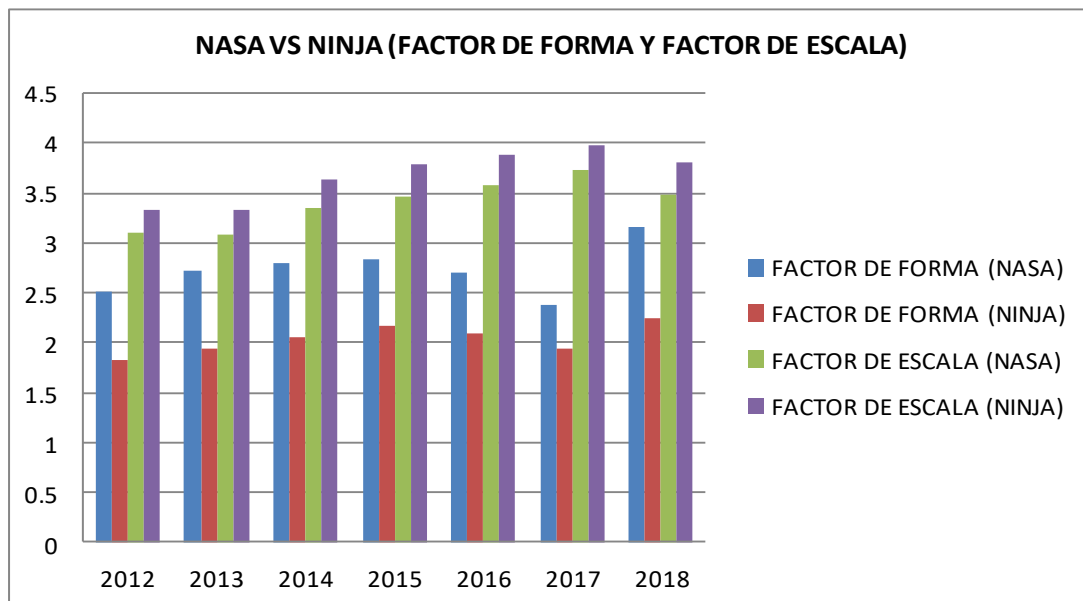


Figura 103. Factor de forma y factor de escala, NASA frente a Ninja

### RÍO DE JANEIRO

Río de Janeiro es una de las ciudades que sufre cambios en la suma anual de la irradiación para distintos años como se ha demostrado en la memoria. Se ha querido investigar si este suceso ocurre también de forma mensual como por ejemplo para el año 2017.

Como se puede observar existen meses con valores superiores en NASA y valores superiores en Ninja.

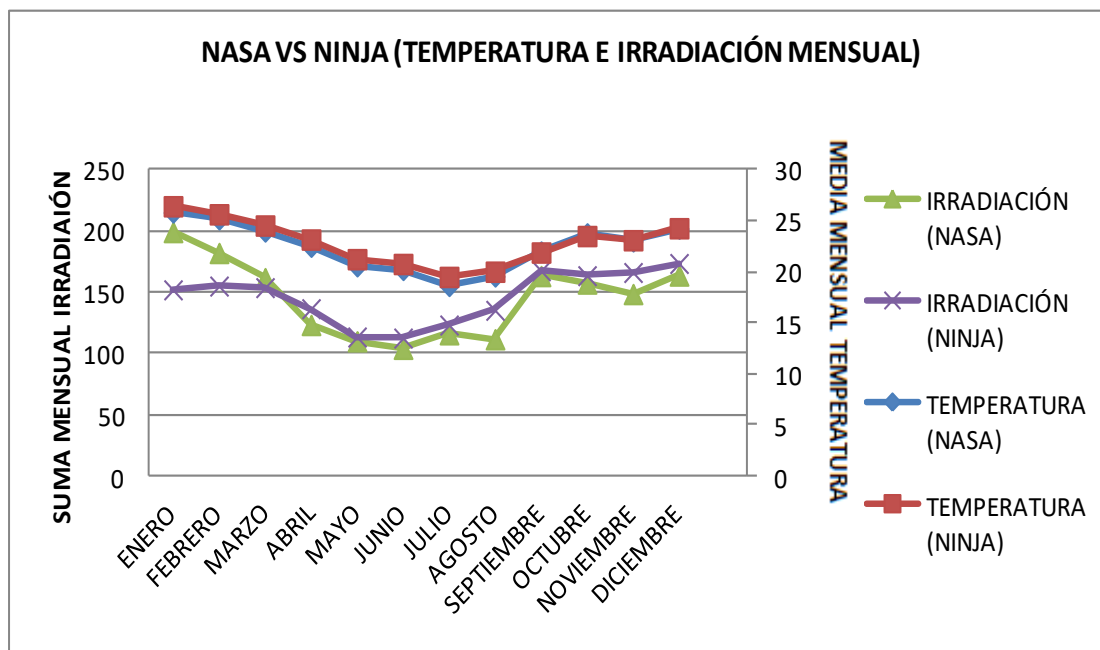


Figura 104. Comparación en los valores mensuales de temperatura (°C) e irradiación (kWh/m2/mes), NASA frente a Ninja



## SAO PAULO

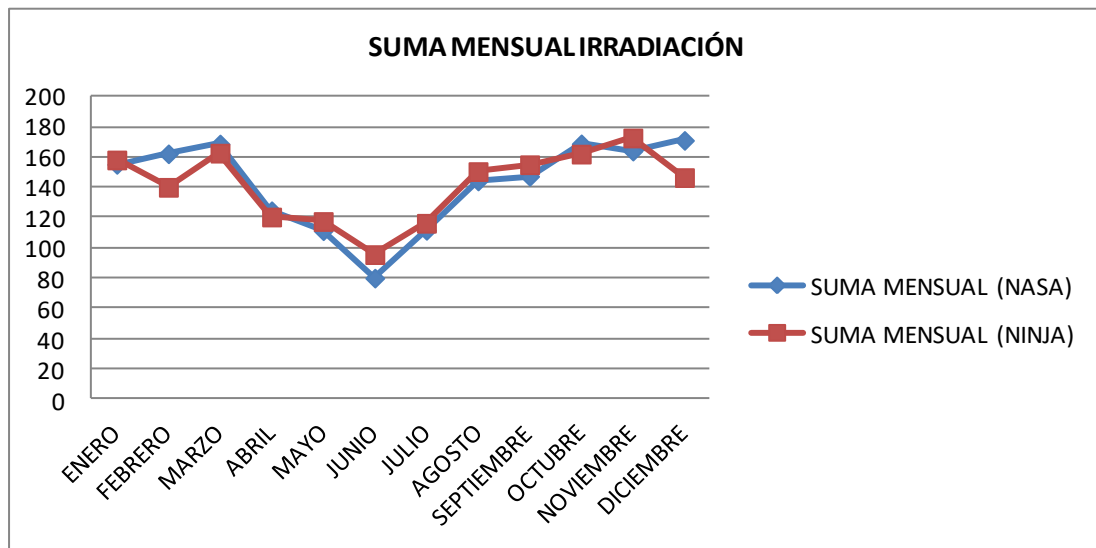


Figura 105. Sumas mensuales de la irradiación (kWh/m2/mes), NASA frente a Ninja

En el estudio realizado en la memoria acerca de la suma anual de la irradiación para cada ciudad podemos ver como Sao Paulo es una ciudad en la que NASA supera en sumas anuales a Ninja en algunos años y otros en los que es Ninja la base que aporta mayores valores de irradiación.

Se ha elegido el año 2012 en el que a nivel anual NASA da una suma superior a Ninja. El resultado obtenido es el mostrado. También existen meses del año en los que Ninja tiene sumas superiores a NASA y viceversa.