

Generación de Series para Simulación de Centrales Termosolares

G. Ibáñez
R. X. Valenzuela
L. Ramírez
J. Polo



Generación de Series
para Simulación
de Centrales Termosolares

G. Ibáñez
R. X. Valenzuela
L. Ramírez
J. Polo

Toda correspondencia en relación con este trabajo debe dirigirse al Servicio de Información y Documentación, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Ciudad Universitaria, 28040-MADRID, ESPAÑA.

Las solicitudes de ejemplares deben dirigirse a este mismo Servicio.

Los descriptores se han seleccionado del Thesaurus del DOE para describir las materias que contiene este informe con vistas a su recuperación. La catalogación se ha hecho utilizando el documento DOE/TIC-4602 (Rev. 1) Descriptive Cataloguing On-Line, y la clasificación de acuerdo con el documento DOE/TIC.4584-R7 Subject Categories and Scope publicados por el Office of Scientific and Technical Information del Departamento de Energía de los Estados Unidos.

Se autoriza la reproducción de los resúmenes analíticos que aparecen en esta publicación.

Catálogo general de publicaciones oficiales
<http://www.060.es>

Depósito Legal: M-26385-2011

ISSN: 1135-9420

NIPO: 721-14-008-8

Editorial CIEMAT

CLASIFICACIÓN DOE Y DESCRIPTORES

S14

SOLAR RADIATION; SOLAR THERMAL POWER PLANTS; SIMULATION;
POWER GENERATION; SPAIN; SYSTEMS ANALYSIS; DATA ANALYSIS

Generación de Series para Simulación de Centrales Termosolares

Ibáñez, G.; Valenzuela, R. X.; Ramírez, L.; Polo, J.

69 pp. 23 ref. 64 figs. 40 tablas

Resumen:

Debido a los problemas con el medio ambiente y otros como inestabilidades políticas y económicas derivados del uso del petróleo como principal fuente de energía, ha surgido en los últimos años un creciente interés por el desarrollo de energías alternativas a las convencionales. En este campo el sol es un elemento fundamental ya que cualquier forma de energía existente deriva de él ya sea directa o indirectamente. Dentro de todas estas energías renovables, nos hemos centrado en la energía solar térmica que jugará un papel fundamental sobre todo en países con un gran potencial solar como España.

Dentro de esta forma de energía renovable, una de las tecnologías con un futuro más prometedor son las centrales de concentradores cilindro-parabólicos, centrales que ya poseen un desarrollo tecnológico suficiente para competir con el resto de energías y con un margen de mejora muy amplio. Estas centrales serán objeto de los estudios realizados en este trabajo.

A lo largo del mismo se intentará establecer y estandarizar algunos procedimientos necesarios para el tratamiento de datos previos a las simulaciones de energía con este tipo de centrales.

El objetivo final será ayudar a la creación de una normativa donde queden recogidos todos estos procedimientos, y que ésta pueda usarse como guía para futuros estudios de viabilidad de estas centrales.

Para alcanzar el objetivo, en distintas etapas se irán realizando los estudios necesarios para definir los diferentes puntos de la norma. En primer lugar se estudiarán varias casuísticas a la hora de analizar el comportamiento de los datos estimados de partida. En este punto se tendrá en cuenta tanto la variable elegida (radiación global, directa o una mezcla de ambas), como el procedimiento utilizado para la generación del VMR (Valor Mensual de Referencia) diferenciándolo en dos tipologías distintas. Este VMR se refiere a los valores mensuales medios que se consideran representativos del comportamiento a largo plazo.

También se estudiará el mejor método para el ajuste de los datos estimados obtenidos de las imágenes por satélite proponiendo la incorporación de un nuevo método para ello e intentando determinar si es equivalente al ya establecido.

Por último se completará una simulación con los datos estimados ya tratados para evaluar la influencia de las diferentes alternativas y métodos propuestos en los resultados permitiendo comparar estos con otras simulaciones realizadas con los datos medidos.

Data Series Generation for CPS Plants Simulation

Ibáñez, G.; Valenzuela, R. X.; Ramírez, L.; Polo, J.

69 pp. 23 ref. 64 figs. 40 tables

Abstract:

Due to the problems with the environment and other issues arising from the use of oil as the main source of energy, such as unstable politics and economics, there has been a growing interest in the development of alternative forms of energy over the last few years. In this field, the sun is a fundamental element, since any form of existing energy derives from it, directly or indirectly. Taking in to consideration all of these renewable energies, we have decided to focus on solar thermal energy, seeing as it will play a vital role in the future particularly in countries such as Spain that have great solar potential.

Amid this form of renewable energy, the parabolic cylinder concentrator power plants are technologies with one of the most promising futures. Power plants with sufficient technological developments to compete with the other forms of energies and that have an extensive margin for improvement. These power plants are the subject of the investigations carried out in this project.

This project will try to establish and standardize some of the necessary procedures for the process of data prior to the simulation of energy with these types of power plants. The final objective is to help create a regulation where all these procedures are gathered together, and one that can be used as a guide for future investigations on the viability of these power plants.

To achieve this, this project is comprised of various phases where different necessary investigations will be carried out in order to define the different points of the regulation.

Firstly, the different casuistics will be investigated when analyzing the behavior of the estimated input data. At this stage, the selected variable (global or direct radiation), as well as the procedure used for the generation of the Monthly Reference Value, will be taken in to account, differentiating it in to two different typologies.

The best method for the adjustment of the estimated data obtained from the satellite images will also be investigated, proposing the incorporation of a new method for it, as well as trying to determine whether it is equivalent to the one already established.

Lastly, a simulation will be completed with the estimated data already processed in order to evaluate the influence of different alternatives and methods set out in the results, allowing for the comparison of these results with other simulations carried out with the measured data.

Índice

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivo.....	2
1.3. Estructura del trabajo	3
2. EL SOL Y SU ENERGÍA.....	4
2.1. La radiación solar.....	4
2.2. Energía solar térmica	7
3. Centrales de concentradores cilindro-parabólicos	11
3.1. Historia.....	11
3.2. Componentes principales	11
4. Campaña de medidas	13
4.1. Control de calidad	13
4.2. Validación	13
4.3. Resultados campaña de medidas.....	14
5. Estimación del valor mensual de referencia	17
5.1. Redacción de la norma.....	17
5.2. Descripción de los trabajos realizados	19
5.2.1. Descripción de la fuente de datos estimados.....	19
5.2.2. Resultado del control de calidad y validación.....	20
5.2.3. Ajuste con la campaña de medidas	21
5.2.4. Determinación de VMR	24
5.3. Conclusiones y modificaciones propuestas	29
6. Generación del año solar representativo	31
6.1. Redacción de la norma.....	31
6.2. Descripción de los trabajos realizados	32
6.2.1. Cualificación de las estimaciones	32
6.2.2. Tratamiento de generación de ASR a partir de estimaciones.....	40
6.3. Conclusiones y modificaciones propuestas a la norma.....	40
7. Simulación de la energía producida por la central.....	41
7.1. Descripción del entorno de simulación.....	41
7.2. Resultados de la simulación.....	42
7.3. Conclusiones de la simulación.....	51
8. Conclusiones generales	53
9. Propuesta de redacción de la norma.....	55
10. Bibliografía	56
11. Anexos	58
11.1. Anexo 1: Código fuente de la programación realizada en Matlab.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Resumen de los procedimientos para la generación de ASR recogidos en la norma

FIGURA 2: Radiación solar incidente, reflejada y absorbida.

FIGURA 3: Posiciones de la tierra con respecto al sol

FIGURA 4: Tipos de radiación

FIGURA 5: Sistemas de receptor central

FIGURA 6: Disco parabólico Stirling.

FIGURA 7: Reflectores lineales Fresnel

FIGURA 8: Colector cilindro-parabólico

FIGURA 9: Localización de los emplazamientos de los datos tratados.

FIGURA 10: Solape-(Horarios-Diarios)-GHI

FIGURA 11: Solape-(Horarios-Diarios)-DNI

FIGURA 12: BIAS DNI Navarra

FIGURA 13: BIAS GHI Navarra

FIGURA 14: MAE DNI Navarra

FIGURA 15: MAE DNI Navarra

FIGURA 16: RMSE DNI Navarra

FIGURA 17: RMSE DNI Navarra

FIGURA 18: BIAS DNI Soria

FIGURA 19: BIAS GHI Soria

FIGURA 20: MAE DNI Soria

FIGURA 21: MAE DNI Soria

FIGURA 22: RMSE DNI Soria

FIGURA 23: RMSE DNI Soria

FIGURA 24: BIAS DNI Sevilla

FIGURA 25: BIAS GHI Sevilla

FIGURA 26: MAE DNI Sevilla

FIGURA 27: MAE DNI Sevilla

FIGURA 28: RMSE DNI Sevilla

FIGURA 29: RMSE DNI Sevilla

FIGURA 30: BIAS DNI Almería

FIGURA 31: BIAS GHI Almería

FIGURA 32: MAE DNI Almería

FIGURA 33: MAE DNI Almería

FIGURA 34: RMSE DNI Almería

FIGURA 35: RMSE DNI Almería

FIGURA 36: BIAS DNI 2011

FIGURA 37: BIAS DNI 2012

FIGURA 38: MAE DNI 2011

FIGURA 39: MAE DNI 2012

FIGURA 40: RMSE DNI 2011

FIGURA 41: RMSE DNI 2012

FIGURA 42: BIAS GHI 2011

FIGURA 43: BIAS GHI 2012

FIGURA 44: MAE GHI 2011
FIGURA 45: MAE GHI 2012
FIGURA 46: RMSE GHI 2011
FIGURA 47: RMSE GHI 2012
FIGURA 48: Software utilizado para la simulación
FIGURA 49: Producción energética anual de Navarra
FIGURA 50: Producción energética mensual de Navarra
FIGURA 51: Producción energética anual de Navarra
FIGURA 52: Producción energética mensual de Navarra
FIGURA 53: Producción energética anual de Soria
FIGURA 54: Producción energética mensual de Soria
FIGURA 55: Producción energética anual de Soria
FIGURA 56: Producción energética mensual de Soria
FIGURA 57: Producción energética anual de Sevilla
FIGURA 58: Producción energética mensual de Sevilla
FIGURA 59: Producción energética anual de Sevilla
FIGURA 60: Producción energética mensual de Sevilla
FIGURA 61: Producción energética anual de Almería
FIGURA 62: Producción energética mensual de Almería
FIGURA 63: Producción energética anual de Almería
FIGURA 64: Producción energética mensual de Almería

ÍNDICE DE TABLAS

- TABLA 1: Descripción de los emplazamientos de los datos tratados
- TABLA 2: Datos mensuales válidos de DNI en Navarra
- TABLA 3: Datos mensuales válidos de DNI en Soria
- TABLA 4: Datos mensuales válidos de DNI en Sevilla
- TABLA 5: Datos mensuales válidos de DNI en Almería
- TABLA 6. Formato de la tabla a rellenar para la estimación del valor representativo a largo plazo a partir de fuente de datos.
- TABLA 7: Resultados de la validación de los datos estimados en Soria
- TABLA 8: Resultados de la validación de los datos estimados en Sevilla
- TABLA 9: Resultados de la validación de los datos estimados en Almería
- TABLA 10: Periodos de un año elegidos para la correlación
- TABLA 11: AJUSTE ESTIMADOS DIARIOS vs. MEDIDOS
- TABLA 12: AJUSTE ESTIMADOS HORARIOS vs. MEDIDOS
- TABLA 13: Resultados del VMR a partir de la variable de radiación DIRECTA o GLOBAL en NAVARRA
- TABLA 14: Resultados del VMR a partir de la variable de radiación DIRECTA o GLOBAL en NAVARRA
- TABLA 15: Resultados del VMR a partir de la variable de radiación DIRECTA o GLOBAL en SORIA
- TABLA 16: Resultados del VMR a partir de la variable de radiación DIRECTA o GLOBAL en SORIA
- TABLA 17: Resultados del VMR a partir de la variable de radiación DIRECTA o GLOBAL en SEVILLA
- TABLA 18: Resultados del VMR a partir de la variable de radiación DIRECTA o GLOBAL en SEVILLA
- TABLA 19: Resultados del VMR a partir de la variable de radiación DIRECTA o GLOBAL en ALMERÍA
- TABLA 20: Resultados del VMR a partir de la variable de radiación DIRECTA o GLOBAL en ALMERÍA
- TABLA 21: Resultados de la producción energética anual de Navarra
- TABLA 22: Resultados de la producción energética mensual de Navarra
- TABLA 23: Resultados de la producción energética anual de Navarra
- TABLA 24: Resultados de la producción energética mensual de Navarra
- TABLA 25: Resultados de la producción energética anual de Soria
- TABLA 26: Resultados de la producción energética mensual de Soria
- TABLA 27: Resultados de la producción energética anual de Soria
- TABLA 28: Resultados de la producción energética mensual de Soria
- TABLA 29: Resultados de la producción energética anual de Sevilla
- TABLA 30: Resultados de la producción energética mensual de Sevilla
- TABLA 31: Resultados de la producción energética anual de Sevilla
- TABLA 32: Resultados de la producción energética mensual de Sevilla
- TABLA 33: Resultados de la producción energética anual de Almería
- TABLA 34: Resultados de la producción energética mensual de Almería
- TABLA 35: Resultados de la producción energética anual de Almería

TABLA 36: Resultados de la producción energética mensual de Almería

TABLA 37: Desviaciones Navarra

TABLA 38: Desviaciones Soria

TABLA 39: Desviaciones Sevilla

TABLA 40: Desviaciones Almería

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

1.1. Introducción

Este proyecto es la continuación de una serie de estudios que se están llevando a cabo impulsados por diferentes entidades con el objetivo de establecer y aunar procedimientos relacionados con la energía termosolar. Dentro del Comité Técnico de Normalización 206 de AENOR (Agencia Española de Normalización) se está llevando a cabo el desarrollo de normas relacionadas con Centrales Termosolares (AEN/CTN 206/SC 1/GT 1 “Central Termosolar”). Para los estudios de viabilidad de estas centrales es frecuente la utilización de datos de radiación solar para la estimación de la energía producida por la planta durante el periodo de vida estimado de la misma. Los datos de radiación solar para estas simulaciones, si bien en general parten de una campaña de medidas, se generan por procedimientos no estandarizados.

Así, en 2010 se constituyó el “Subgrupo Año Solar Representativo (ASR)”, para la redacción de una norma en la que se recogieran una serie de procedimientos permitidos para la generación de series anuales de radiación solar con las que simular las centrales termosolares. Se pretende que los procedimientos incluidos en la norma sean equivalentes en cuanto a la energía producida por la planta a partir de cada uno de ellos

A lo largo de los años que ha durado la redacción de la norma, se ha visto que es muy difícil acordar una serie de parámetros y/o procedimientos sin tener información real de los resultados de cada una de las variantes o procedimientos estudiados hasta el momento. Esto ha supuesto un punto de parada y una limitación para la propuesta final de un documento de consenso entre todos los participantes.

De forma general, en la Figura 1 se muestran los procedimientos que se contemplan en la norma. El primer bloque de procedimientos (5.1) se trata de procedimientos de tratamiento de los datos de la campaña de medidas, esto es control de calidad y validación. A continuación, y dependiendo de la información disponible para el estudio, se plantean dos pasos independientes: (5.2) el cálculo de valores mensuales de referencia, y (5.3) la generación del ASR propiamente dicho (serie anual necesaria para la simulación). Se plantean así varias líneas posibles para la generación de las series, pero fundamentalmente la concatenación de 5.2.1 y 5.3.1; y la concatenación de 5.2.2 y 5.3.2. Es importante destacar que además, dentro de cada uno de éstos apartados se contemplan varias posibilidades que se verán a lo largo del proyecto supuestamente equivalentes.

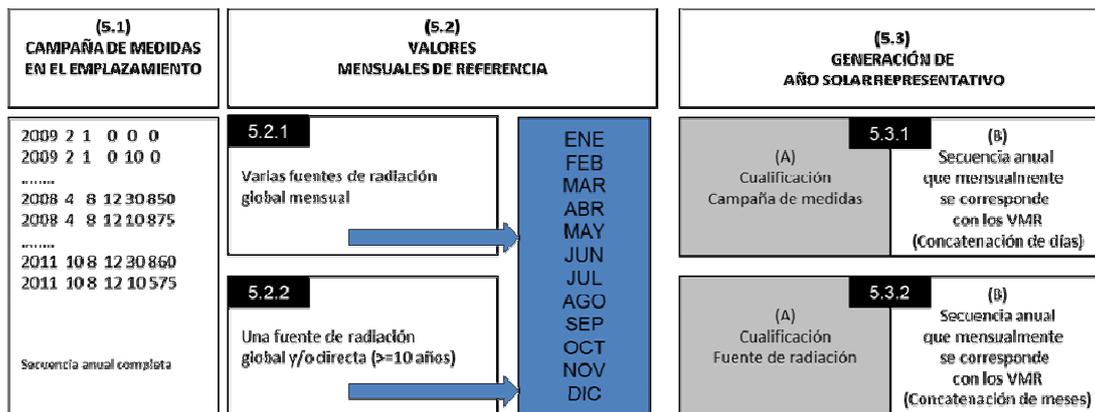


Figura 1. Resumen de los procedimientos para la generación de ASR recogidos en la norma

En el contexto de la colaboración entre el CIEMAT y la Universidad Carlos III de Madrid, se han acometido trabajos para la validación de los procedimientos propuestos en la norma. En concreto, se han llevado a cabo dos trabajos fin de máster:

- Uno centrado en el estudio de los procedimientos basados en el uso de la campaña de medida como fuente principal de información.
- Y otro basado en el uso de una fuente de datos estimados para la generación de la serie representativa para la simulación.

El presente trabajo es el segundo de los dos mencionados.

1.2. Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es elaborar unos resultados preliminares que serán utilizados para continuar con la redacción provisional de una norma en proceso de elaboración, e intentar resolver algunas de las cuestiones surgidas en el proceso. Para el estudio de esta norma se ha partido de dos fuentes de datos:

- Los datos medidos de radiación global y radiación directa de cada uno de los emplazamientos analizados.
- Los datos estimados por Irsolav en los emplazamientos a partir del tratamiento de imágenes de satélite.

Para poder acometer con éxito este objetivo se han establecido algunos objetivos secundarios previos, imprescindibles de abordar para completar el proyecto satisfactoriamente. Estos pasos intermedios permitirán tomar este proyecto como uno de los documentos base para el desarrollo de esta norma. Para completar las diferentes etapas con éxito será necesario realizar diferentes estudios que nos permitirán analizar el comportamiento de las series de datos estimados. Para ello habrá que tener en cuenta diferentes casuísticas en función de:

- La variable elegida: radiación global (GHI), radiación directa (DNI) o ambas (GHI+DNI), siendo esta última la media entre ambas variables.
- El proceso de generación del valor mensual de referencia (VMR): para el tratamiento de los datos se ha diferenciado un procedimiento al que hemos llamado “corto” en el que solo se tiene en cuenta la desviación de los datos, analizando el estadístico FS, y otro al que hemos denominado “largo” en el que además de las desviaciones se han tenido en cuenta las medias mensuales de estos datos.

En este trabajo se han estudiado también las diferentes posibilidades de cualificación de la fuente de datos, previo a la generación del ASR, intentando determinar cuál de ellas es la más correcta o si ambas son equivalentes para este caso.

Por último, se ha procedido a la simulación de la energía producida por la central en cada uno de los supuestos analizados.

1.3. Estructura del trabajo

El proyecto consta de las siguientes fases:

- **Introducción:** en la introducción se explicará tanto el objetivo y las bases del proyecto como los conceptos necesarios para entender el campo de estudio y la tecnología estudiada.
- **Control de calidad y validación:** en este apartado se comprobará que los datos estimados que se van a utilizar en los estudios son datos reales y coherentes.
- **Estimación del VMR (Valor mensual de referencia):** en este apartado se ajustarán los valores estimados con respecto a los valores medidos mediante un factor de corrección, y se determinarán mediante los seis procedimientos diferentes los años de procedencia de cada uno de los meses que formarán el año tipo.
- **Generación del ASR (Año solar representativo):** se estudiará mediante el cálculo de los estadísticos si puede utilizarse el año calculado en el apartado anterior y se generarán las series con los datos horarios que se utilizarán para la simulación a partir de los años elegidos en el apartado anterior.
- **Simulaciones de energía:** en este punto se realizarán las simulaciones de la producción de energía en los distintos emplazamientos para poder comparar los resultados de las distintas casuísticas estudiadas en términos energéticos.
- **Conclusiones y propuestas:** para finalizar se hará un pequeño resumen de los resultados obtenidos en el proyecto y las implicaciones que estos pudieran tener sobre la redacción de la norma.

2. EL SOL Y SU ENERGÍA

2.1. La radiación solar

En la actualidad se está intentando determinar cuál será el conjunto de energías óptimo que sustituirá el actual sistema de generación basado en energías convencionales tan perjudiciales para el medio ambiente. La gran mayoría de las energías que formarán este conjunto, obtienen su energía del sol ya sea de manera directa como la energía solar, o de manera indirecta como la eólica.

En este proyecto las energías que se estudiarán tienen el sol como fuente de energía directa, por lo que obtendrán la energía necesaria a partir de la radiación solar.

La radiación no es una característica única del sol, todos los cuerpos existentes emiten radiación en forma de ondas electromagnéticas, siendo la frecuencia de esta radiación un valor que depende de su temperatura. Tomando como ejemplo el sol, con una temperatura en su superficie de aproximadamente $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$, la mayor parte de la radiación que emite, está en el espectro visible, aunque también emite mucha energía en forma de radiación ultravioleta e infrarroja, que aunque no pueda verse se deberá tener muy en cuenta. El 97 % de esta radiación electromagnética procedente del sol está contenida en el intervalo espectral ($0,29\text{ }\mu\text{m}$ - $3\text{ }\mu\text{m}$). A esta radiación solar se la denomina radiación de onda corta.

Como explicaremos a continuación gran parte de la radiación con una longitud de onda baja es absorbida en la atmósfera por sustancias como el oxígeno y el ozono.

En el extremo opuesto tenemos la radiación con una longitud de onda superior a $24\text{ }\mu\text{m}$, que no es capaz de atravesar la atmósfera al comportarse ésta como un cuerpo opaco ante radiaciones de longitud de onda tan altas. A esta interacción con la atmósfera se la llama absorción, y tendrá un mayor efecto en las capas bajas de la atmósfera donde la densidad es mayor. Esto no tiene mucha importancia ante la radiación emitida por el sol ya que como hemos comentado no suele superar los $3\text{ }\mu\text{m}$ pero sí la tiene a la hora de analizar la radiación que emite la tierra, ya que al estar a una temperatura muy inferior a la del sol, emite radiaciones con una longitud de onda mayor, que pueden llegar a ser de $40\text{ }\mu\text{m}$. Esto significa que aunque en el camino de entrada a la tierra esta radiación sí puede atravesar la atmósfera, no lo tendrá tan fácil al intentar escapar de ella. A esto último se lo conoce como efecto invernadero y es el principal causante de las variaciones de la temperatura media de la tierra.

Otro de los efectos que sufre la radiación al atravesar la atmósfera es el de difusión o dispersión, el cual se entiende como el cambio de dirección de la luz al chocar con una partícula o aerosol.

En la imagen siguiente podemos ver más detalladamente este efecto.

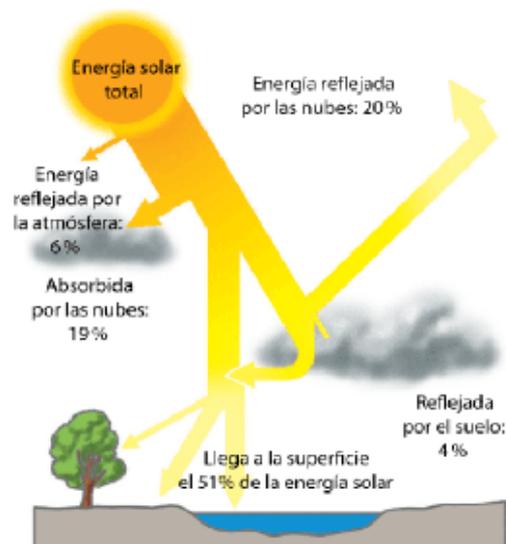


Figura 2. Radiación solar incidente, reflejada y absorbida

Como podemos ver gran parte de la radiación emitida por el sol no llega a la tierra, ya que más de un 50% es reflejado o absorbida por diferentes elementos que se encuentra a su paso por la atmósfera. Esta reflexión es debida sobre todo a la cantidad de aire que tiene que atravesar hasta llegar a la superficie. Esto varía a lo largo del día, época del año e inclinación con que lleguen estos rayos.

Es tal la variabilidad de este fenómeno, que ha sido imposible crear un modelo físico para predecir la radiación con exactitud. El único sistema fiable utilizado para la predicción de este fenómeno es la utilización de grandes bases de datos recogidos en la zona en cuestión, con todas las estadísticas de los años anteriores.

En los últimos años se ha desarrollado un sistema para determinar la radiación en cualquier parte de la tierra mediante fotografías hechas por satélite. Los datos obtenidos siguen teniendo un error superior a los obtenidos con el sistema tradicional pero este margen se va reduciendo con el tiempo, y aunque de momento se utilicen para estudios previos puede que este aumento de precisión permita tenerlos en cuenta al realizar los cálculos de energía producida en las centrales a estudiar.

Como ya hemos dicho uno de los factores a tener en cuenta para el cálculo de la radiación es la inclinación de los rayos provenientes del sol con respecto a la tierra. Para detallar más la influencia de la inclinación de la radiación hay que conocer algunos datos sobre el movimiento de la tierra.

Por todos es sabido que hay dos movimientos fundamentales, el de rotación y el de translación. La translación es el movimiento que realiza la tierra alrededor del sol siguiendo una trayectoria elíptica con un periodo de 365,4 años, y es el causante de las estaciones del año. En esta órbita elíptica el sol ocupa uno de los focos de la elipse pero al estar éstos tan juntos, la variación de distancia debida a esta órbita elíptica no supone más de un 2%, por lo que su influencia en la radiación no será muy grande y su papel será despreciable comparándolo con las variaciones que provoca la desviación del eje [13].

Por otro lado tenemos la rotación, que se entiende como el giro de la tierra sobre sí misma con respecto a un eje formado por la unión de los polos en un periodo de 24 horas. Este eje tiene la característica de no estar en posición perpendicular con respecto al plano formado por la órbita elíptica, sino que tiene una desviación de $23,45^\circ$. Este ángulo provoca que durante las

estaciones de verano e invierno, tomando los solsticios como punto de máxima influencia, el ángulo de incidencia de la radiación sobre la tierra no sea igual en los dos hemisferios. Esto tiene una gran repercusión en la radiación recibida ya que ésta depende del coseno de este ángulo de incidencia, siendo máxima cuando es perpendicular. Por el contrario en las estaciones de primavera y otoño, y más concretamente en los equinoccios, no existe diferencia entre la inclinación con que llega la radiación al hemisferio norte y al sur por lo que no habrá diferencia entre la radiación de uno y otro.

Las cuatro posiciones principales de la tierra con respecto al sol son el afelio, donde la distancia entre la tierra y el sol es máxima, el perihelio donde la distancia es mínima y las otras dos posiciones que comparten una misma distancia entre el sol y la tierra.

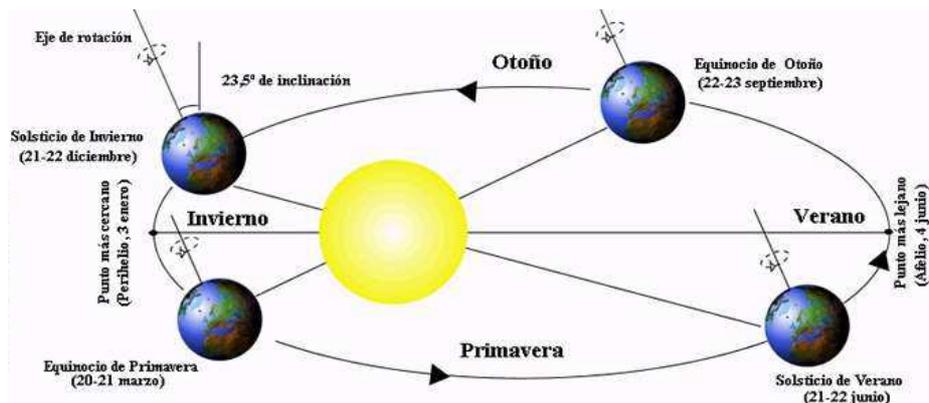


Figura 3. Posiciones de la tierra con respecto al sol

Normalmente para cuantificar la energía que llega en forma de radiación solar se eligen las unidades de kJ/m^2 o kW/m^2 .

Antes de su entrada en la atmósfera, a la radiación solar se la conoce como radiación extraterrestre y se define como la potencia de radiación solar sobre 1 m^2 de una superficie situada en el límite superior de la atmósfera [2].

Una vez ha traspasado la atmósfera, la radiación que llega a la superficie terrestre puede dividirse en varios tipos:

Radiación directa: Formada por los rayos procedentes del Sol que inciden directamente y sufren dispersión alguna antes de llegar a la tierra. Esta radiación procede del disco solar y representa el 90% de la radiación en un día claro.

Radiación difusa: Formada por los rayos procedentes del sol que son dispersados y reflejados al pasar por la atmósfera.

Radiación del albedo o reflejada: Es la procedente de la reflexión de la radiación solar en edificios, montañas, lagos o el mismo suelo.

Radiación global: Es la suma de las componentes directa, reflejada y difusa. Al ser el total de la radiación que llega a la superficie es la más fácil de medir y de la que más datos se disponen. A partir de ella se calcula el índice de transparencia de la atmósfera.

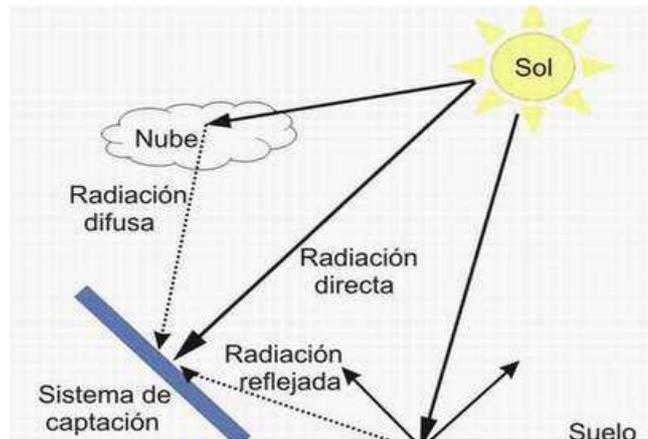


Figura 4. Tipos de radiación

Otros términos que se utilizan para medir la radiación sobre la superficie terrestre son:

Irradiancia solar: Densidad de potencia incidente en una superficie, o la energía incidente en una superficie por unidad de tiempo y unidad de superficie. Se mide en W/m^2 o kW/m^2 .

Irradiación solar: Energía incidente en una superficie por unidad de superficie y a lo largo de un cierto período de tiempo. Se mide en Wh/m^2 o kWh/m^2 [2].

2.2. Energía solar térmica

Uno de los sistemas que se ha convertido en uno de los más prometedores a la hora de sustituir la producción de energía mediante centrales convencionales es la energía solar térmica.

Estos dispositivos basados en la concentración solar toman la energía procedente de la radiación solar concentrando los rayos solares en una superficie reducida donde se elevará la temperatura de algún fluido para después generar energía eléctrica extrayendo esta energía del fluido. Para la utilización de esta energía normalmente será necesaria una primera etapa en la que se extraerá la energía del fluido caloportador y mediante un intercambiador de calor se calentará un segundo fluido, típicamente agua, a partir del cual se generará vapor para más tarde turbinarlo y generar la energía eléctrica deseada.

Otro posible sistema es obtener la energía directamente del primer fluido haciéndolo pasar por una turbina de vapor. Este no es el único sistema por el cual podemos beneficiarnos de la energía proveniente del sol sino que también puede utilizarse para producir calor para funciones industriales o domésticas, desalinización de agua o incluso la producción de algunos combustibles como el hidrógeno. En nuestro caso las centrales estudiadas invertirán la energía en la generación directa de energía eléctrica.

Una de las ventajas de algunas de las centrales que utilizan esta tecnología es la capacidad de almacenar parte de la energía absorbida del sol para su posterior uso. En un momento en que los sistemas de almacenamiento aún están en desarrollo esto es un factor a tener en cuenta frente a otras tecnologías que no disponen de esta opción como la eólica o la fotovoltaica, ya que permite tener cierta flexibilidad frente a la demanda pudiendo consumir esa energía en los

momentos que más convenga. Esto es posible ya que algunas centrales podrán almacenar este calor en sales fundidas las cuales podrán mantenerlo durante horas.

Otra de las ventajas de la energía solar en comparación con otras tecnologías es su capacidad para generar energía eléctrica a precios competitivos con unos niveles de contaminación nulos. Esto ha sido un punto muy positivo en su desarrollo debido a la creciente tendencia de la mayoría de los países de ir sustituyendo las centrales convencionales contaminantes por centrales basadas en energías renovables.

Las plantas de concentración solar poseen dos partes bien diferenciadas: en primer lugar está el campo solar, que se encarga de recoger y concentrar la radiación solar convirtiéndola en calor, y la segunda, el bloque de potencia con el cual se convierte la energía calorífica recogida por el campo solar en energía eléctrica.

A continuación haremos un pequeño resumen de las tecnologías existentes para después centrarnos en las centrales termosolares de colectores cilindro parabólicas las cuales son el objeto de nuestro estudio.

Las tecnologías principales son cuatro:

Sistemas de Receptor Central (3D): Son plantas a gran escala en las que espejos de seguimiento en dos ejes, o helióstatos, concentran la radiación solar directa y la reflejan sobre un receptor situado en lo alto de una torre central. En el receptor la energía solar se transforma en energía térmica y este calor es transferido a un fluido (aire, sales fundidas, vapor de agua) que a su vez impulsa una turbina de vapor convencional acoplada a un generador.

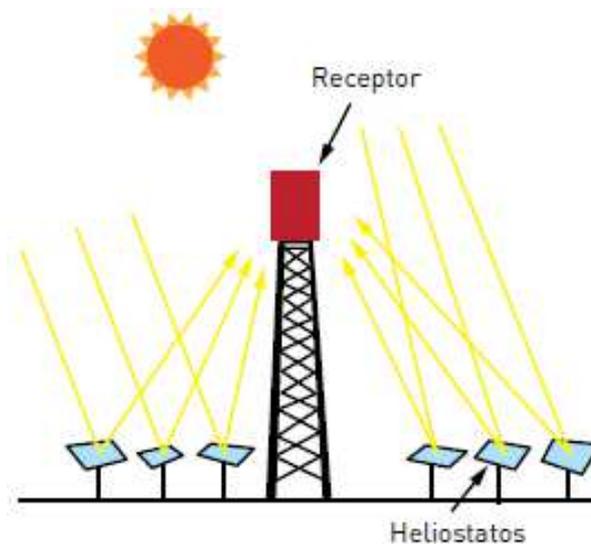


Figura 5. Sistemas de receptor central [22]

Discos parabólicos Stirling (3D): Su concentrador parabólico sigue al sol continuamente, reflejando los rayos paralelos entrantes sobre su zona focal. El intercambiador de calor solar situado en la zona focal del concentrador absorbe la radiación solar concentrada, calentando el medio caloportador (helio o hidrógeno). Un motor Stirling convierte este calor en energía

mecánica, que es a su vez transformada en energía eléctrica por un generador acoplado directamente al eje del motor.

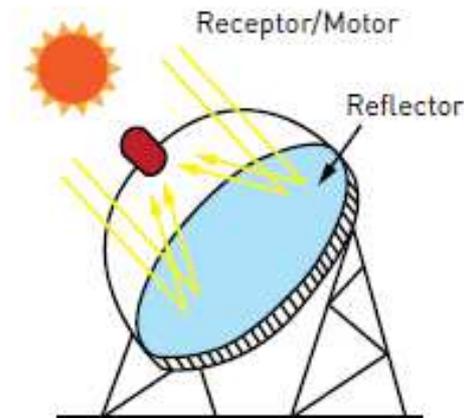


Figura 6. Disco parabólico Stirling [22]

Reflectores lineales Fresnel (2D): Los espejos que captan y concentran la radiación solar son planos. Colocados uno al lado del otro, forman largas filas móviles de espejos. Dispuestos de forma paralela, guían la energía de la radiación solar hacia un tubo ubicado por encima de los espejos. En este tubo receptor está el agua que se calienta a temperaturas de hasta 450 grados centígrados. De esta manera se genera vapor, que se transforma en energía eléctrica mediante una turbina.

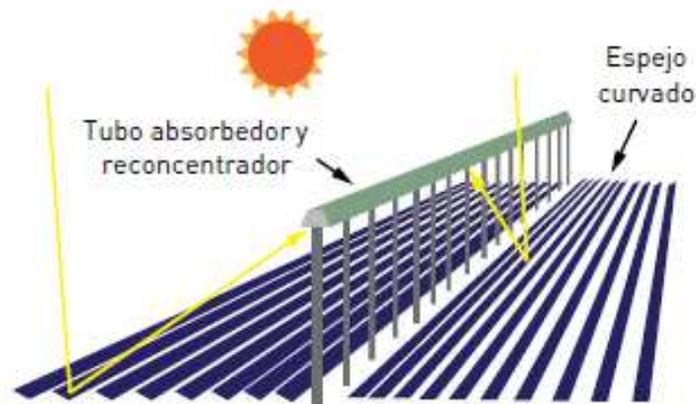


Figura 7. Reflectores lineales Fresnel [22]

Colector cilindro-parabólico (2D): Los sistemas de canales parabólicos consisten en filas paralelas de espejos con forma de parábola que concentran la radiación a lo largo de la línea focal de dicha parábola. Estas filas típicamente alcanzan de 300 a 600 metros de longitud y casi los 6 metros de anchura. Estos lazos están formados por los colectores que tienen unos 150m de longitud. Cada uno de estos colectores está formado por 12 unidades más pequeñas llamadas módulos, que miden unos 12 m. A lo largo del recorrido el fluido aumenta su

temperatura hasta llegar a los intercambiadores donde se generará el vapor que más tarde se turbinará.

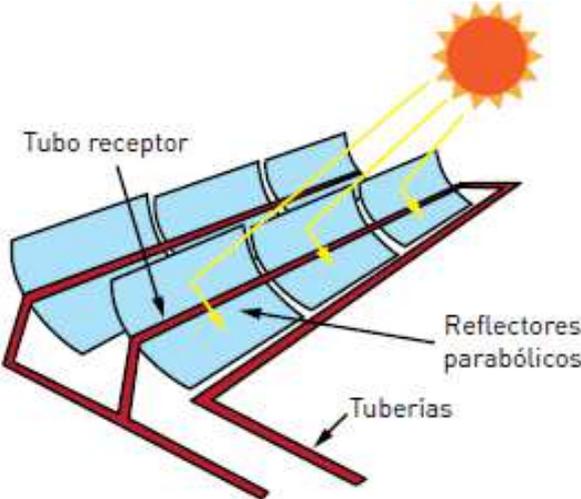


Figura 8. Colector cilindro-parabólico [22]

3. Centrales de concentradores cilindro-parabólicos

3.1. Historia

Como muchas de las tecnologías que se siguen desarrollando en la actualidad esta tecnología nació en los años 70 durante la crisis del petróleo. Este fue el momento en el que debido al aumento de los precios del petróleo los dirigentes de algunos países decidieron que había que crear algunas alternativas al petróleo para la obtención de la energía necesaria para continuar con el crecimiento y el desarrollo de sus países, y por ello empezaron a investigarse distintas tecnologías alternativas que permitieran la generación de electricidad mediante sistemas diferentes a los convencionales que habían usado hasta la fecha. El primer proyecto significativo que probó la validez de las centrales cilindro-parabólicas como opción real de generar electricidad en el futuro, se desarrolló en EEUU en 1984 conocido como SEGS (Solar Energy Generating System) y consistía en una planta de 14MW. Actualmente esta tecnología es la más probada de las cuatro junto con las centrales de torre.

3.2. Componentes principales

En este punto trataremos de dar una pequeña descripción de cada uno de los componentes necesarios para la construcción de una central de concentradores cilindro-parabólicos.

Este tipo de tecnologías solo utiliza la radiación directa por lo que deberá ser necesario instalar un seguimiento de 1 o 2 ejes para maximizar la radiación solar absorbida. En el caso de las centrales cilindro-parabólicas esto también será útil en caso de que las condiciones atmosféricas obliguen a proteger las instalaciones, colocando los colectores en la posición que ejerza menos resistencia al aire.

A continuación se detallan los componentes principales de este tipo de instalaciones:

- Fluido de trabajo: El fluido de trabajo puede alcanzar temperaturas de 400°C dependiendo de la temperatura que se desee obtener en la instalación y de la época de desarrollo los fluidos pueden ser varios.
 - Aceite térmico.
 - Sales fundidas.
 - Agua/Vapor.
 - Gas

Para el agua la temperatura máxima será de unos 200 °C mientras que para temperaturas más altas habrá que utilizar aceite que permite temperaturas de hasta 400 °C. Las centrales más modernas están utilizando sales como fluido ya que permite temperaturas incluso más altas que el aceite.

En caso de utilizar sales como fluido caloportador se ahorraría la instalación del intercambiador de calor en caso de hacer uso del sistema de almacenamiento.

- Superficie reflectante o espejos: son chapas o cristales con forma cilindro parabólico encargadas de reflejar la radiación solar sobre el tubo absorbente. Este proceso tiene una eficiencia media superior al 93%. Los materiales más utilizados para estos colectores son metal, cristal o plástico.
La mayor parte de los espejos utilizados se basan en un recubrimiento de plata que consigue el efecto espejo aunque la tendencia de abaratar costes está permitiendo el desarrollo de espejos de aluminio pulido.
- Estructura: soporta el conjunto, además de las cargas a las que está expuesto el conjunto. Esta estructura puede ser de dos tipos, torque-box y torque-tube.
Torque-box está principalmente compuesto de celosía y existe una patente europea libre (EuroTrough). Torque-tube supone costes de fabricación y montaje menores, pero por el momento está sujeto a licencias privadas.
- Tubo absorbedor: recibe y capta la radiación concentrada, en un ratio 80:1 con respecto del sol. Es un tubo de acero con recubrimiento selectivo de baja emisividad para evitar pérdidas por radiación rodeado de un tubo de vidrio que potencia la absorción de calor mediante efecto invernadero. El vacío entre ambos tubos mantiene bajas pérdidas por convección. El tubo es de acero y tiene unos 7 cm de diámetro, con un espesor de 2 mm. Cada uno de los módulos mencionados anteriormente está formado por 3 tubos de 4 m cada uno.
- Bloque de potencia: este punto se puede dividir en dos partes principales, el intercambiador de calor y la turbina de vapor. En un primer momento el fluido caloportador, típicamente sales o aceite, pasa a través del intercambiador de calor donde transferirá parte de su energía en forma de calor al ciclo de agua, convirtiendo esta en vapor sobrecalentado. Este vapor será el que pase a través de la turbina. La turbina consta de varias etapas ya que parte del flujo pasará al recalentador para más tarde volver a la turbina de baja presión. También parte de este flujo de vapor se utilizará para precalentar el agua antes de llegar al intercambiador procedente del condensador.

4. Campaña de medidas

Para este estudio se han utilizado datos de radiación solar de cuatro emplazamientos diferentes, tanto por su situación (Figura 9), cómo por la institución a cargo (Tabla 1). Estos datos se obtendrán de estaciones meteorológicas situadas en el emplazamiento elegido y serán tanto de radiación directa como global. En todos los casos se trata de datos registrados con sensores de termopila.

Tabla 1. Descripción de los emplazamientos de los datos tratados

PROVINCIA	MUNICIPIO	NOMBRE	PROPIEDAD	LONGITUD	LATITUD
SORIA	LUBIA	CEDER	CIEMAT	-2,506	41,603
ALMERÍA	TABERNAS	PSA	DLR	-2,358	37,094
SEVILLA	ÉCIJA	PLANTA SEVILLA	PROMOTOR	-5,329	37,558
PAMPLONA	SARRIGUREN	CENER	CENER	-1,602	42,816



Figura 9. Localización de los emplazamientos de los datos tratados.

Los trabajos de control de calidad y validación de los datos medidos han sido realizados por CIEMAT.

4.1. Control de calidad

El control de calidad se he realizado siguiendo los estándares de la *Baseline Surface Radiation Network* (BSRN), analizando si los datos registrados eran físicamente posibles (1), no extremadamente raros (2), o coherentes entre sí (3).

A partir de los datos etiquetados como físicamente posibles (1), se procederá a la generación de los datos horarios.

Después de esto se realizará el control de calidad a los datos horarios según los mismos estándares.

4.2. Validación

Para la se han seguido los procedimientos descritos en la norma, permitiendo un hueco horario máximo para considerar un día válido.

4.3. Resultados campaña de medidas

A continuación se muestran cuatro tablas con un resumen de los resultados mensuales obtenidos para cada emplazamiento estudiado. Se incluyen únicamente los resultados de radiación directa.

Navarra. Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)

Los datos medidos han sido suministrados por CENER. Al realizar la validación por los dos métodos descritos en la norma obtenemos los mismos resultados. En la siguiente tabla se muestran los valores mensuales y en caso de ser un año completo las sumas anuales.

Tabla 2. Datos mensuales válidos de DNI en Navarra (kWh/m²)

2010	2011	2012	PROMEDIO
45	75	64	61
56	86	109	84
105	94	173	124
148	156	53	119
131	189	176	165
151	173	188	171
212	198	226	212
198	199	202	200
149	183	141	158
113	161	97	124
47	67	75	63
67	43	61	57
1 422	1 624	1 565	1 537

Soria. Centro de Energías Renovables (CEDER-CIEMAT)

Los datos medidos han sido suministrados por CIEMAT. Al realizar la validación por los dos métodos descritos en la norma se han obtenido diferentes resultados, obteniéndose dos meses válidos más por el procedimiento que permite tener un hueco de 4 días no a la hora de determinar si un mes es válido o no. En la siguiente tabla se muestran los valores mensuales y en caso de ser un año completo las sumas anuales.

Tabla 3. Datos mensuales válidos de DNI en Soria (kWh/m²)

2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	PROMEDIO
		88		57		90	122		89
	129	64	102	134	74	129	152	70	107
	112	136	124	195	103	83	200		136
	164	106	149	130	142	162	83	132	134
	196	146	99			187			157
	196					216			206
	228	261				260			250
	259	184	239						227
	146	187	176		165				169
	112	163	115						130
77	82	171	91		75				99
126	103				93	100			106
									1 809

Sevilla. Promotor (SEVILLA)

Los datos medidos han sido suministrados por el promotor. Al realizar la validación por los dos métodos descritos en la norma obtenemos los mismos resultados. En la siguiente tabla se muestran los valores mensuales y en caso de ser un año completo las sumas anuales.

Tabla 4. Datos mensuales válidos de DNI en Sevilla (kWh/m²).

2011	2012	PROMEDIO
90	163	127
159	208	184
149	185	167
175	154	165
202	213	208
286	246	266
287	294	291
222	240	231
216	179	198
197	152	175
126	95	111
152	104	128
2 261	2 233	2 247

Almería. Plataforma Sola de Almería (PSA)

Los datos medidos han sido suministrados por DLR. Al realizar la validación por los dos métodos descritos en la norma obtenemos los mismos resultados. En la siguiente tabla se muestran los valores mensuales y en caso de ser un año completo las sumas anuales.

Tabla 5. Datos mensuales válidos de DNI en Almería (kWh/m²).

2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	PROMEDIO
	172			110	142	160	118	127	111	168	139
	113			135	132	105	145	107	187	194	140
	137		147	205	203	220	180	132	149	206	175
	175		214	146	111	221	203	138	162	215	176
	209		225	137	233	163	232	260	177	246	209
	221		255	203	253	248	247	231	222	238	235
256			254	200	281	246	256	248	246	256	249
158			210	247	199	243	249	218	234	201	218
160			196	186	158	140	140	196	222	176	175
164			160	143	140	105	186	164	168	164	155
138			143	116	144	155	154	141	122	96	134
137				129		130	124	124	161	147	136
				1 957		2 136	2 234	2 086	2 161	2 307	2 141

5. Estimación del valor mensual de referencia

5.1. Redacción de la norma

En este punto se recoge un fragmento de la normativa donde se especifica el procedimiento a seguir para la estimación del VMR. Esto es importante para conocer el punto de partida del borrador de la norma.

5.2 Estudio de valor representativo a largo plazo

A la hora de definir el periodo o número de años a tener en cuenta en el estudio del valor representativo a largo plazo en un determinado emplazamiento, los estudios climatológicos describen que haría falta una serie de al menos 30 años [11]. No obstante atendiendo exclusivamente a la variable radiación solar, otros estudios sugieren periodos menores entre 5 y 15 años [12, 13]. En el contexto de esta norma se exige que la información de partida para el estudio del valor representativo a largo plazo abarque un periodo mínimo de 10 años consecutivos.

En cuanto a las variables a utilizar para caracterizar el comportamiento a largo plazo de la irradiación directa normal, en esta norma se permite el uso de esta variable (aplicando el procedimiento 5.2.2) o el de la irradiación global horizontal para el estudio a largo plazo (aplicando los procedimientos 5.2.1 o 5.2.2)

El valor anual representativo a largo plazo se determina a través de 12 valores mensuales representativos medios, que pueden ser de irradiación directa normal o de irradiación global horizontal, junto con la desviación estándar asociada a cada uno de ellos. Para la determinación de estos valores será necesario aplicar una de las dos metodologías que se describen a continuación.

5.2.2 Una fuente

En este apartado se describe un procedimiento por el cual, a partir de una única fuente de datos de radiación solar (ya sea directa normal, global horizontal o ambas) de un periodo global de 10 años, se estimarán los valores mensuales que se consideran representativos del comportamiento a largo plazo (VMR), junto con la desviación estándar asociada a estos valores medios (☐).

En este apartado, además de los tipos de datos recogidos en los apartados 3.2 a 3.7, de forma excepcional será posible utilizar una fuente con datos medidos en una estación situada a una distancia de hasta 50 km y siempre que se demuestre que hay similitud climática entre las dos ubicaciones.

La fuente de datos, que pueden ser en frecuencia horaria o diaria, ha de ser sometida a los procesos de control de calidad y validación descritos en 5.1.1 y 5.1.2. A partir de lo cual se dispondrá de la serie de valores diarios válidos correspondientes a los 10 años (período de tiempo mínimo para poder aplicar este procedimiento).

La fuente de datos ha de tener un solape mínimo de un año con la campaña de medidas, de manera que permita el cálculo de un ajuste entre ambas series en valores diarios (nunca horarios ni mensuales) para cada una de las variables de la radiación que se vayan a utilizar. El ajuste determinado en el año de solape habrá de aplicarse al total de la serie y con estos valores diarios se rellenará una tabla como la Tabla Modelo abajo mostrada para cada una de las variables de radiación consideradas (directa normal, global horizontal o ambas).

Tabla Modelo. Formato de la tabla a rellenar para estimación del valor representativo a largo plazo a partir de una fuente de datos. Una tabla por variable a utilizar.

Día	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	...	AÑO 10
1					
2					
3					
...					
365					

El valor mensual representativo a largo plazo (**VMR**) de cada variable, será la suma de los valores diarios de un mes concreto de entre los años disponibles. La selección de ese mes concreto se hace tomando como base el método del Laboratorio Nacional de Sandía [*], en el que se propone la evaluación de la media ponderada (MP) del estadístico de Finkelstein-Schafer (FS) en cada uno de los meses disponibles de la fuente de datos (Ecuación 1).

En este estadístico se considera la diferencia entre las funciones de distribución (FDA o función de densidad acumulada) de los datos diarios de cada variable (**x**) de un mes concreto (**j**), a la FDA de los datos diarios de ese mes durante todos los años disponibles. Las diferencias son ponderadas a través de un peso relativo para cada variable (δ_x), siendo

la suma de todos los pesos relativos igual a uno ($\sum \delta_x = 1$).

$$FS_{jk}^x = \sum_{r=1}^{n_r} |FDA_j^x(r) - FDA_{jk}^x(r)| \quad \text{Ecuación 1}$$

$$MP_{jk} = \sum_x \delta_x \cdot FS_{jk}^x \quad \text{Ecuación 2}$$

Siendo:

r, valores de cada uno de los rangos (eje de abscisas) en que se distribuyen los valores diarios de la variable **x**, en la que se evalúa la función de distribución.

n_r, número de rangos considerados (eje de abscisas) en las funciones de distribución.

FDA_{jk}(r) el valor de la función de distribución de los datos diarios de la variable **x** evaluada en el rango **r**, en la muestra de datos diarios del mes **j** y año **k**.

FDA_j(r) el valor de la función de distribución de los datos diarios de la variable **x** evaluada en el rango **r**, en la muestra de datos diarios del mes **j** de todos los años.

δ_x , peso relativo para cada variable.

Para el uso de este método en el contexto de esta norma se hacen las siguientes consideraciones especiales:

- Se requiere una base de datos de al menos 10 años.
- Las variables meteorológicas involucradas en este caso son exclusivamente la irradiancia directa normal y/o irradiancia global horizontal. En el caso de involucrar únicamente a una variable el peso relativo de la misma será igual a 1 ($\delta_x = 1$), y en caso de involucrarse las dos, el peso relativo de cada una será 0.5 ($\delta_x = 0.5$).

El estadístico FS (Ecuación 1) y la media ponderada correspondiente se calcula para cada mes (i) y año (k) a partir de los datos de la Tabla Modelo.

El mes concreto para determinar el VMR se selecciona eligiendo aquel mes i y año k que conduce a un valor mínimo del estadístico FS. El valor mensual representativo a largo plazo (VMR) podrá determinarse por tanto para las variables que hayan sido consideradas en el proceso (irradiancia directa normal y/o irradiancia global horizontal) como la suma de los valores diarios del mes elegido.

Una vez determinado valor mensual representativo a largo plazo se determina la desviación típica (σ_i) de este valor a partir del análisis de todos los valores mensuales disponibles.

5.2. Descripción de los trabajos realizados

5.2.1. Descripción de la fuente de datos estimados

Los datos estimados se han obtenido de la empresa IrSOLaV, Spin-off del CIEMAT. Los datos que esta empresa ofrece han sido desarrollados a partir de una versión modificada del modelo Heliosat-3, desarrollado y validado por el CIEMAT con más de 30 estaciones de medida en la península ibérica. Después de este primer desarrollo IrSOLaV ha generado una herramienta que se aplica sobre una base de datos de imágenes por satélite [19].

El periodo para el que se han obtenido datos a partir de las imágenes por satélite va desde 1994 hasta 2013 con la excepción de los años 2003 y 2004 de los que no se tiene información. Estos datos serán las estimaciones que compararemos con los datos medidos obtenidos de las distintas estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio.

Estos emplazamientos han sido elegidos teniendo en cuenta que en ellos están situadas estaciones de medida con varios años de funcionamiento, lo que será requisito indispensable al hacer la comparación y correlación con nuestros datos de satélite y así poder comprobar el grado de precisión de estos.

Las variables que se han tenido en cuenta a lo largo de todo el proyecto son la radiación global y la radiación directa. En otros casos también pudiera haberse tenido en cuenta la radiación difusa, pero para nuestro estudio se carecía de datos de radiación difusa obtenidos a partir de imágenes por satélite. Además de esto los datos de radiación difusa en las estaciones de medida son incompletos e insuficientes para haberlos tenido en cuenta en el estudio realizado.

A pesar de todo ello se ha realizado un análisis de la influencia de la radiación difusa en la producción de energía de la central mediante simulaciones con SAM (System Advisor Model), programa utilizado para realizar las simulaciones y del que hablaremos más adelante. En este análisis se llegó a la conclusión de que la radiación difusa no tiene influencia alguna en el resultado final de energía generada siendo irrelevante los valores de radiación difusa que se utilicen en la simulación.

5.2.2. Resultado del control de calidad y validación

A continuación se presentan los resultados de los días que no han superado el proceso de validación y por tanto han tenido que ser sustituidos por otros días del mes según las indicaciones recogidas en cada uno de los dos procedimientos de la norma. El procedimiento A permite anomalías en una única hora para que este día sea considerado válido, y no más de dos días no válidos para considerar correcto el mes. En el procedimiento B, no se permitirán anomalías horarias al considerar los días válidos, pero se permitirán 4 días no validos en cada uno de los meses.

Se muestran solamente los resultados de radiación directa.

Para el emplazamiento de Navarra no ha sido necesaria la sustitución de ningún día.

Tabla 7. Resultados de la validación de los datos estimados en Soria.

PROCEDIMIENTO A				PROCEDIMIENTO B			
Año	Mes	Día_ini	Día_fin	Año	Mes	Día_ini	Día_fin
1998	2	28	6	1998	2	28	6
2005	1	23	30	2005	1	14	30
2005	1	23	31	2005	1	14	31
				2005	2	4	1
				2005	2	4	2
				2005	2	4	28
2005	12	23	22	2005	12	23	22
2006	2	11	5	2006	2	11	5
2007	11	25	16	2007	11	25	16
2008	2	17	2	2008	2	17	2
2008	2	17	9	2008	2	17	9
				2010	2	24	1
				2010	2	24	2
				2010	2	24	10
2010	3	5	15	2010	3	5	15
2011	2	26	2	2011	2	26	2
2012	2	24	3	2012	2	24	3
2012	2	24	11	2012	2	24	11

Tabla 8. Resultados de la validación de los datos estimados en Sevilla

PROCEDIMIENTO A				PROCEDIMIENTO B			
Año	Mes	Día_ini	Día_fin	Año	Mes	Día_ini	Día_fin
				2012	2	18	3
				2012	2	18	4
				2012	2	18	12

Tabla 9. Resultados de la validación de los datos estimados en Almería.

PROCEDIMIENTO A				PROCEDIMIENTO B			
Mes	Día_ini	Día_fin	Año	Mes	Día_ini	Día_fin	Mes
2005	1	17	25	2005	1	14	25

En las tablas queda indicado el día que ha sido necesario sustituir y el día que se ha utilizado para reemplazar el día eliminado.

5.2.3. Ajuste con la campaña de medidas

Uno de los principales objetivos de este proyecto, es el desarrollo de una metodología estándar para realizar el ajuste de series estimadas obtenidas a partir de imágenes por satélite con datos obtenidos de campañas de medidas en cada uno de los lugares elegidos. Para ello se ha partido de la redacción provisional de la norma en elaboración por un Grupo de Trabajo del Comité Técnico de Normalización de AENOR y se ha estudiado la validez de algunos de los procedimientos necesarios para realizar estos ajustes entre series.

Para completar este proceso de ajuste de las series ha sido necesario seleccionar un periodo de un año para el cual deberemos tener valores tanto de series estimadas obtenidas a partir de imágenes por satélite como de la campaña de medidas. Esto nos permitirá realizar una regresión lineal analizando la correlación entre ambas series, ver si fuera necesario aplicar un factor de corrección a la serie de valores estimados y en caso de que lo fuera calcular ese valor.

Además de esto también se estudiará el mejor método para la aplicación de este factor de correlación comprobando si es equivalente realizar esta correlación en valores horarios y diarios.

Para la elección de este año de solape entre ambas series será necesario que cumpla al menos la siguiente condición:

Este año deberá ser un año continuo completo, por lo que no podrán seleccionarse meses sueltos de años diferentes para intentar formar un periodo completo de un año uniendo estos pequeños periodos mensuales de años separados. Teniendo esto en cuenta podremos seleccionar un año que tenga como comienzo cualquier mes del año sin ser necesario que este periodo vaya de enero a diciembre.

En nuestro caso los periodos de un año elegidos para la correlación son:

Tabla 10. Periodos de un año elegidos para la correlación.

	NAVARRA	SORIA	SEVILLA	ALMERÍA
Año	2012	Junio-2006/Mayo-2007	2011	2012

Para el cálculo de la correlación se ha utilizado el programa de simulación Matlab, software para la manipulación y representación de datos con una gran cantidad de funciones matemáticas implementadas internamente que permite multitud de cálculos y análisis matemáticos. Además de esto también da la posibilidad de la programación de algoritmos propios para facilitar y agilizar el tratamiento de cualquier tipo de datos.

En este caso se utilizó la función “regress” que nos permitirá realizar correlaciones de series obteniendo tanto la pendiente de la función obtenida, que representará el factor por el que hay que multiplicar nuestra serie de valores estimados para ajustarla a los valores medidos, como también estadísticos como el R^2 que nos darán información sobre el grado de correlación existente entre las series utilizadas [20].

Para realizar correctamente esta correlación habrá que asegurarse de que obligamos a que ambas series de datos pasen por el origen para que así sean equivalentes y comparables las pendientes obtenidas.

Esta correlación se ha realizado tanto para los valores horarios como diarios con objeto de poder comparar la variabilidad de los resultados obtenidos en función del método elegido.

Con esto se pretende estudiar la posibilidad de realizar las correlaciones sobre los datos horarios directamente y así evitar el proceso de aplicación de una correlación obtenida a partir de la serie de datos diarios a unas series de datos horarios, que serán los que necesitemos para nuestras simulaciones.

En la tabla 12 se presentan los valores de los factores de correlación para cada una de las tres posibilidades según las variables Radiación Global (GHI), Radiación Directa (DNI) y Radiación (Global+Directa), y diferenciándolo en valores calculados a partir de las series horarias y diarias. También se presentan en las siguientes tablas los valores del estadístico R^2 para cada uno de los grupos y emplazamientos. Los valores de máximo y mínimo representan los intervalos de confianza de cada uno de los factores de correlación ya que al calcularse utilizando un año tipo no serán valores exactos.

Tabla 11. AJUSTE ESTIMADOS DIARIOS vs. MEDIDOS

LOCALIDAD	AÑO	GHI				DNI			
		F.Correlación	R^2	Min	Max	F.Correlación	R^2	Min	Max
NAVARRA	2012	1,0155	0,9020	0,9988	1,0322	0,9774	0,8847	0,9560	0,9988
SORIA	2006/7	1,0104	0,9458	0,9984	1,0224	0,9679	0,9308	0,9518	0,9839
SEVILLA	2011	1,0349	0,9732	1,0277	1,0420	1,0753	0,9165	1,0600	1,0907
ALMERÍA	2012	1,0113	0,9007	0,9987	1,0239	0,9953	0,8449	0,9783	1,0124

En este caso vemos cómo los factores de corrección son muy cercanos a 1 lo que indica que las diferencias entre las series de valores medidos y estimados son muy pequeñas.

Además también podemos ver que los valores del estadístico R^2 también son muy cercanos a 1 por lo que la correlación entre las series medidas y estimadas es muy alta.

A pesar de esto cabe destacar que los valores de los emplazamientos de Pamplona, Almería y Soria siguen una misma tendencias siendo los valores estimados de radiación global algo más altos que los de las campañas de medida, mientras que los valores de Sevilla en ese mismo caso son menores que los medidos en un 7%.

Tabla 12. AJUSTE ESTIMADOS HORARIOS vs. MEDIDOS.

LOCALIDAD	AÑO	GHI				DNI			
		F.Correlación	R ²	Min	Max	F.Correlación	R ²	Min	Max
NAVARRA	2012	1,0012	0,9267	0,9964	1,0061	0,9583	0,8453	0,9511	0,9654
SORIA	2006/7	0,9945	0,93331	0,9899	0,9991	0,9429	0,8656	0,9364	0,9494
SEVILLA	2011	1,0282	0,9624	1,0248	1,0316	1,0570	0,9018	1,0512	1,0628
ALMERÍA	2012	1,0054	0,9564	1,0018	1,0090	0,9981	0,8959	0,9925	1,0037

En este caso de valores horarios se repiten los resultados vistos en el caso anterior, destacando que los valores de nuestras estimaciones vuelven a ser en el caso de la radiación directa para el emplazamiento de Sevilla casi un 6% mayor que los medidos en ese emplazamiento.

Para el resto de casos y emplazamientos se obtienen unos factores de correlación muy cercanos a 1, indicando que los valores de las series medidas y estimadas no tienen apenas diferencias siendo esto confirmado por unos valores del estadístico R² de entre 0,9 y 0,96.

Este parámetro es un buen indicativo de la precisión de los datos estimados con respecto a los medidos por lo que consideraríamos muy útil el establecer algún límite en la normativa a R² determinando que series son válidas para este tipo de estudios y cuáles no. Con esto nos aseguraríamos una alta correlación entre nuestros datos estimados y los medidos

A continuación se representan las gráficas donde queda reflejada la equivalencia de las correlaciones

Esto se hace comparando los intervalos de confianza de cada uno de los factores de correlación para cada emplazamiento, y viendo si entre ellos existe una zona de solape. En caso de que ambas zonas tuvieran este solape, significaría que el factor de correlación podría ser el mismo valor para ambos procedimientos y que por tanto el procedimiento de correlación realizado sobre los valores horarios sería equivalente a realizarlo sobre los valores diarios.

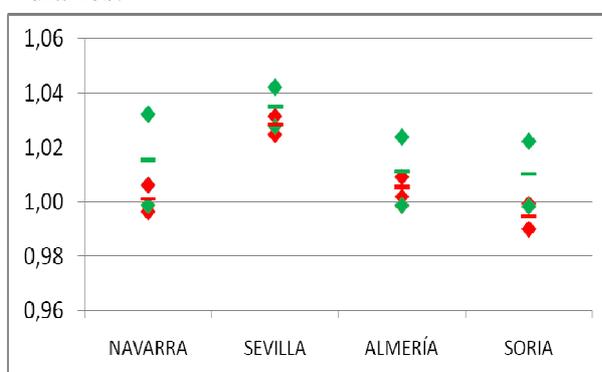


Figura 10. Solape-(Horarios-Diarios)-GHI

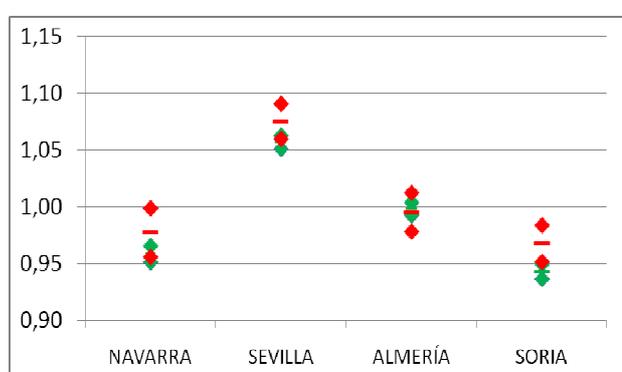


Figura 11. Solape-(Horarios-Diarios)-DNI

En estas gráficas el valor exacto del factor de correlación de cada emplazamiento viene representado por un guión, que será verde para el caso de los datos diarios y rojo para los horarios. También vienen representados los intervalos de confianza ya mencionados de cada uno de los valores mediante rombos manteniendo el código de colores anterior.

Como podemos ver en las gráficas existe el solape en los cuatro emplazamientos de los datos de GHI, lo que significa que realizar la correlación utilizando los datos diarios u horarios sería equivalente.

En el caso de la radiación directa se repiten los resultados anteriores menos en el emplazamiento de Soria, en el cual no se produce solape de los intervalos. Esto nos indica que existe una pequeña variación en los resultados dependiendo de los datos de partida elegidos.

Analizando con más detalle este último caso podemos ver en las tablas de este mismo apartado del emplazamiento de Soria que esta diferencia es mínima ya que el valor superior del intervalo de datos horarios es 0,9494 mientras que el valor inferior del intervalo de datos diarios es 0,9518.

Después de este análisis se ha decidido realizar la correlación utilizando los datos horarios al ser equivalentes a los diarios en la mayoría de los casos y así evitar los posibles errores que nos encontraríamos si tuviéramos que traspasar los ajustes de la correlación hallada con los datos diarios a los datos horarios.

A pesar de todo este análisis y el posterior ajuste realizado no se puede asegurar que las series vayan a ser idénticas en todos los aspectos, ya que con este método podemos ajustar los valores totales y medios de radiación, pero no podemos analizar la forma que tendrán estas series para cada uno de los días que componen el año. Con esto nos referimos a que la radiación medida puede estar más repartida a lo largo de las horas de sol de cada día o más centralizada en las horas de mayor radiación, lo que desembocaría en unos resultados de energía producida algo diferentes para cada una de las series aún teniendo éstas los mismos valores totales.

5.2.4. Determinación de VMR

Como ya se comentó en la introducción, para el cálculo del VMR se han seguido 6 metodologías diferentes, variando tanto la variable de cálculo (GHI, DNI, Y GHI+DNI), como el tipo de procedimiento (largo o corto).

La primera metodología seleccionada denominada “corta”, es la que realiza el cálculo del VMR teniendo en cuenta únicamente el estadístico *FS*, el cual representa la distancia de cada uno de los meses de cada año a la media de los valores de los meses de todos los años.

En el segundo caso también se tiene en cuenta el estadístico *FS* para la selección de los cinco mejores meses de entre todos los años, que serán los que tengan una desviación menor con respecto al valor medio. La variante con respecto al procedimiento anterior es que para la selección del mes final de entre los mejores cinco tendremos en cuenta los valores mensuales de cada uno de ellos y elegiremos al que posea un valor mensual más parecido al valor medio de la suma mensual de todos los años para cada mes. Esta metodología queda identificada como “larga”.

En las siguientes tablas podemos encontrar los 12 meses seleccionados para el VMR mediante cada uno de los procedimientos con la columna de año que representa el año al que pertenece el mes seleccionado, con su desviación típica (σ) y su valor mensual.

En esta primera tabla podemos ver los resultados del cálculo del VMR a partir de la variable de radiación directa tanto con la metodología “corta” como la “larga” en kWh/m².

Tabla 13. Resultados del VMR a partir de la variable de radiación GLOBAL y DIRECTA en NAVARRA.

	DNI								GHI							
	Corto				Largo				Corto				Largo			
	Año	σ	DNI	GHI												
ENE	2002	18	49	71	2002	18	49	71	1999	25	49	73	1998	33	48	71
FEB	1995	21	64	79	2000	59	71	81	2011	27	67	94	2011	27	67	94
MAR	1994	23	113	113	1994	23	113	113	1994	27	113	113	2002	45	112	118
ABR	2009	31	123	107	2001	44	125	108	2009	27	123	107	2001	41	125	108
MAY	2000	17	170	139	2000	17	170	139	1995	30	160	131	1994	52	164	146
JUN	1999	36	181	154	1998	38	193	163	2009	22	190	173	2009	22	190	173
JUL	1996	27	202	198	2012	29	202	196	2001	20	200	177	2012	26	202	196
AGO	1999	25	176	168	1999	25	176	168	1997	22	177	175	1997	22	177	175
SEP	2010	20	127	126	2010	20	127	126	2001	23	129	129	2009	31	126	128
OCT	2010	25	87	100	2010	25	87	100	2010	25	87	100	2005	51	85	110
NOV	1999	20	50	66	2011	33	52	71	1999	24	50	66	2001	29	51	64
DIC	1999	37	43	63	1999	37	43	63	2010	40	42	69	1997	40	40	54
Total			1385	1384			1408	1399			1387	1407			1387	1437

Tabla 14. Resultados del VMR a partir de la variable de radiación GLOBAL y DIRECTA en NAVARRA.

	DNI+GHI							
	Corto				Largo			
	Año	σ	DNI	GHI	Año	σ	DNI	GHI
ENE	2002	23	49	71	1998	34	48	71
FEB	1995	27	64	79	2011	31	67	94
MAR	1994	25	113	113	1994	25	113	113
ABR	2009	29	123	107	2001	42	125	108
MAY	1995	27	160	131	1995	27	160	131
JUN	2009	30	190	173	1996	36	192	170
JUL	1995	28	210	202	1996	30	202	198
AGO	1997	25	177	175	1997	25	177	175
SEP	2010	23	127	126	2010	23	127	126
OCT	2010	25	87	100	2010	25	87	100
NOV	1999	22	50	66	2011	32	52	71
DIC	1997	39	40	54	1999	43	43	63
Total			1390	1397			1393	1420

Resumiendo los resultados obtenidos en las tablas podemos ver que con la variable de radiación global 3 de los meses han mantenido el año de proveniencia tanto para el procedimiento largo como el corto, con la variable de la radiación directa 7 de los meses han mantenido el año, y con la media de las variables GHI Y DNI los meses han sido 5.

Tabla 15. Resultados del VMR a partir de la variable de radiación GLOBAL y DIRECTA en SORIA.

	DNI								GHI							
	Corto				Largo				Corto				Largo			
	Año	σ	DNI	GHI												
ENE	2007	43	60	101	1995	55	61	99	1994	31	57	85	1994	31	57	85
FEB	2005	32	85	120	2011	33	84	119	2002	26	84	120	2002	26	84	120
MAR	1999	38	124	137	2008	49	123	137	1996	31	123	125	2000	38	126	137
ABR	2010	31	143	129	1994	39	150	131	1994	27	150	131	2005	30	144	143
MAY	1996	24	178	152	1996	24	178	152	2000	34	168	124	1996	35	178	152
JUN	2007	27	211	197	2011	33	213	196	1999	21	206	180	1999	21	206	180
JUL	2012	45	231	250	2012	45	231	250	1995	34	225	221	1995	34	225	221
AGO	1998	16	198	207	1998	16	198	207	2011	15	200	214	2005	33	199	225
SEP	2012	29	140	153	2012	29	140	153	2010	22	143	161	1996	26	141	155
OCT	2000	24	96	121	2000	24	96	121	1997	39	104	132	2012	40	97	120
NOV	2010	25	58	84	2005	33	58	86	2010	29	58	84	1996	45	60	85
DIC	2009	45	46	80	1999	55	49	89	1994	26	51	91	1994	26	51	91
Total			1570	1731			1581	1740			1569	1668			1568	1714

Tabla 16. Resultados del VMR a partir de la variable de radiación GLOBAL y DIRECTA en SORIA.

	DNI+GHI							
	Corto				Largo			
	Año	σ	DNI	GHI	Año	σ	DNI	GHI
ENE	1994	39	57	85	1995	55	61	99
FEB	1995	30	77	107	2011	39	84	119
MAR	1999	36	124	137	2000	40	126	137
ABR	2005	32	144	143	1994	33	150	131
MAY	1996	29	178	152	1996	29	178	152
JUN	2007	27	211	197	2007	27	211	197
JUL	2012	46	231	250	2012	46	231	250
AGO	1998	21	198	207	1998	21	198	207
SEP	2010	28	143	161	1997	35	144	149
OCT	2000	32	96	121	2005	51	102	133
NOV	2010	27	58	84	1996	40	60	85
DIC	1994	37	51	91	1999	53	49	89
Total			1568	1735			1594	1748

Resumiendo los resultados obtenidos en las tablas podemos ver que con la variable de radiación global 5 de los meses han mantenido el año de proveniencia tanto para el procedimiento largo como el corto, con la variable de la radiación directa 5 de los meses han mantenido el año, y con la media de las variables GHI Y DNI los meses han sido 4.

Tabla 17. Resultados del VMR a partir de la variable de radiación GLOBAL y DIRECTA en SEVILLA.

	DNI								GHI							
	Corto				Largo				Corto				Largo			
	Año	σ	DNI	GHI												
ENE	2006	36	82	142	2006	36	82	142	2006	43	82	142	2006	43	82	142
FEB	1996	34	95	122	1995	45	100	136	1996	29	95	122	1996	29	95	122
MAR	1999	17	147	169	1999	17	147	169	1999	35	147	169	1999	35	147	169
ABR	1996	31	174	173	1997	34	174	174	2008	22	172	182	2008	22	172	182
MAY	1999	31	207	192	1999	31	207	192	2000	26	200	182	2007	39	202	207
JUN	1998	24	232	242	2007	51	232	255	1998	16	232	242	2007	27	232	255
JUL	2008	18	253	290	2008	18	253	290	1999	17	248	281	1998	18	251	296
AGO	2011	27	220	249	2011	27	220	249	2001	9	214	224	2011	10	220	249
SEP	1997	19	159	170	1997	19	159	170	1997	19	159	170	1997	19	159	170
OCT	2008	54	108	132	2000	75	124	153	1997	38	112	129	2012	55	118	155
NOV	1994	29	80	117	1994	29	80	117	1996	32	79	109	2011	34	80	119
DIC	2009	64	60	89	2008	67	66	116	2008	37	66	116	2008	37	66	116
Total			1817	2087			1844	2163			1806	2068			1824	2182

Tabla 18. Resultados del VMR a partir de la variable de radiación GLOBAL y DIRECTA en SEVILLA.

	DNI+GHI							
	Corto				Largo			
	Año	σ	DNI	GHI	Año	σ	DNI	GHI
ENE	2006	39	82	142	2006	39	82	142
FEB	1996	31	95	122	1995	48	100	136
MAR	1999	26	147	169	1999	26	147	169
ABR	1996	30	174	173	1996	30	174	173
MAY	1999	30	207	192	1999	30	207	192
JUN	1998	20	232	242	2007	39	232	255
JUL	2008	18	253	290	2010	26	253	289
AGO	2011	19	220	249	2011	19	220	249
SEP	1997	19	159	170	1997	19	159	170
OCT	1997	50	112	129	2012	55	118	155
NOV	1996	34	79	109	1994	35	80	117
DIC	2008	52	66	116	2008	52	66	116
Total			1826	2103			1838	2163

Resumiendo los resultados obtenidos en las tablas podemos ver que con la variable de radiación global 6 de los meses han mantenido el año de proveniencia tanto para el procedimiento largo como el corto, con la variable de la radiación directa 7 de los meses han mantenido el año, y con la media de las variables GHI Y DNI los meses han sido 7.

Tabla 19. Resultados del VMR a partir de la variable de radiación GLOBAL y DIRECTA en ALMERÍA.

	DNI								GHI							
	Corto				Largo				Corto				Largo			
	Año	σ	DNI	GHI												
ENE	2002	29	84	138	2002	29	84	138	1999	30	82	140	1999	30	82	140
FEB	1996	26	101	138	2009	37	101	139	1996	25	101	138	1996	25	101	138
MAR	1994	25	151	173	1994	25	151	173	2005	28	146	161	2009	38	147	182
ABR	2009	38	177	195	2000	40	183	193	2009	19	177	195	2009	19	177	195
MAY	1997	24	215	214	1994	29	213	206	1994	30	213	206	1996	37	207	208
JUN	1998	21	233	235	1998	21	233	235	2011	20	227	235	2002	26	229	227
JUL	1995	18	243	262	1995	18	243	262	2010	15	244	270	2010	15	244	270
AGO	2012	18	214	224	2012	18	214	224	2005	15	210	228	2001	16	211	215
SEP	2007	26	156	166	2007	26	156	166	2006	18	157	174	2007	21	156	166
OCT	2002	35	120	149	2002	35	120	149	2002	36	120	149	2010	42	120	155
NOV	2011	46	78	113	1998	54	84	124	2002	27	84	119	2002	27	84	119
DIC	2008	29	72	130	2008	29	72	130	2008	20	72	130	1999	41	74	127
Total			1844	2137			1854	2139			1833	2145			1832	2142

Tabla 20. Resultados del VMR a partir de la variable de radiación GLOBAL y DIRECTA en ALMERÍA.

	DNI+GHI							
	Corto				Largo			
	Año	σ	DNI	GHI	Año	σ	DNI	GHI
ENE	1999	30	82	140	1999	30	82	140
FEB	1996	26	101	138	2009	38	101	139
MAR	1999	30	152	175	1994	34	151	173
ABR	2009	29	177	195	2009	29	177	195
MAY	1997	29	215	214	1996	33	207	208
JUN	1998	21	233	235	1998	21	233	235
JUL	1995	19	243	262	1995	19	243	262
AGO	2012	22	214	224	2005	26	210	228
SEP	2007	24	156	166	2007	24	156	166
OCT	2002	35	120	149	2006	42	121	140
NOV	2000	41	82	120	2002	45	84	119
DIC	2008	25	72	130	2008	25	72	130
Total			1847	2148			1837	2135

Resumiendo los resultados obtenidos en las tablas podemos ver que con la variable de radiación global, cinco de los meses han mantenido el año de proveniencia tanto para el procedimiento largo como el corto, con la variable de la radiación directa ocho de los meses han mantenido el año, y con la media de las variables GHI Y DNI los meses han sido seis.

Recopilando los resultados obtenidos en estas tablas obtenemos que en Navarra un 42% de los meses se mantengan invariables por el procedimiento, un 39% en Soria, un 55% en Sevilla y un 53% en Almería. Esto indica que la influencia provocada por el uso de cada uno de los procedimientos para la selección de los meses hace variar aproximadamente la mitad de ellos.

5.3. Conclusiones y modificaciones propuestas

Referente al apartado 5.2.2, podemos ver como únicamente en Soria se ha producido un número significativo de días que no hayan superado el proceso de validación y que por tanto hayan tenido que sustituirse. En el resto de emplazamientos la inmensa mayoría de los días han sido validados incluso llegando a un 100% en el caso de Navarra.

Después de los estudios realizados tanto en el apartado 5.2.3 como en 5.2.4 referentes al cálculo del VMR mediante series horarias o diarias, podría concluirse que los datos obtenidos a partir de las imágenes por satélite y los extraídos de las estaciones meteorológicas son prácticamente equivalentes en este caso. Esto demuestra que las imágenes por satélites pueden ser una gran ayuda para el estudio previo de emplazamientos e incluso para el cálculo final de la producción energética, ya que permiten realizar unas simulaciones bastante aproximadas de los resultados que se obtendrían en las centrales sin tener que depender de una campaña de medidas que podría tomar mucho más tiempo. Este punto queda a la espera de que se consolide con trabajos posteriores que puedan confirmar su validez.

Para poder corroborar este resultado y asegurar la validez de los datos estimados como herramienta de decisión, proponemos el uso del parámetro R^2 tal y como se realizó en el apartado 5.2.3, ya que este nos dirá como de precisos son nuestras series estimadas con respecto a las series medidas. Con el objetivo de cuantificar esta correlación entre series medidas y estimadas sería interesante establecer en la normativa un límite para R^2 por debajo del cual quedarán invalidadas las series estimadas por falta de precisión. Con ello podríamos asegurar que los cálculos efectuados a partir de las series estimadas se ajustan a la realidad en nuestro emplazamiento.

Continuando en el apartado 5.2.3 también hemos podido concluir que los métodos estudiados de ajuste de la serie estimada sobre los datos horarios y diarios son equivalentes, lo que permitiría realizar las correlaciones directamente sobre los datos horarios ahorrándonos el paso de generar los datos horarios a partir de los diarios ajustados. Esto se ha determinado después de comprobar que para siete de los ocho casos pueden considerarse equivalentes los resultados, no cumpliéndose esto por muy poco en el último de los casos.

Esto supondría una modificación en el borrador de la norma que está sirviendo como base para este proyecto, ya que en ésta queda establecido como único procedimiento de cálculo de las correlaciones la obtención de los datos de ajuste a partir de las series de datos diarios. Esto

podría ser modificado dando libertad para la elección de cualquiera de los procedimientos teniendo en cuenta estos como procesos equivalentes.

Por último en el apartado 5.2.4 hemos podido precisar en nivel de influencia provocado por el uso de cada uno de los 6 procedimientos viendo que aproximadamente la mitad de los meses varía al cambiar de procedimiento.

6. Generación del año solar representativo

En este punto se recoge un fragmento de la normativa donde se recoge el procedimiento a seguir para la generación del (ASR).

6.1. Redacción de la norma

En este punto se recoge un fragmento de la normativa donde se recoge el procedimiento a seguir para la generación del (ASR).

5.3 Generación de la serie representativa

La generación del ASR supone la generación de una secuencia de datos ordenados en frecuencia horaria o superior, que abarquen el periodo completo de un año. El proceso de generación se basa en la selección de 12 meses válidos de una determinada fuente (de enero a diciembre), que incluyendo todos los registros correspondientes (variables meteorológicas, parámetros de fecha origen y etiqueta origen) se concatenan y procesan para formar el ASR. Esta fuente ha de cumplir todas las exigencias incluidas en el apartado 4.1 relativas a la identificación geográfica y temporal.

En principio el ASR se construirá utilizando como base la campaña de medidas (con valores de irradiancia directa normal de los tipos descritos en 3.2 o 3.3), pero de forma alternativa también podrá realizarse a partir de estimaciones de irradiancia directa normal de los tipos descritos en los apartados 3.6 o 3.7. Si dicha serie ya fue utilizada en la determinación de los VMR (apartado 5.2.1 o 5.2.2) estos datos ya han sido sometidos a los procesos de control de calidad y validación, pero si no, han de superarlos ahora.

La generación del ASR podrá realizarse por cualquiera de las dos metodologías descritas a continuación. En ambas metodologías se incluye una fase previa de cualificación que si no es superada no permitirá la generación del ASR por esa metodología.

5.3.2 Procedimiento basado en estimaciones

En este apartado se muestra un procedimiento que permitirá la elaboración del fichero ASR a partir de estimaciones de la irradiancia directa normal. Este procedimiento parte de la disponibilidad de una serie de estimaciones de 10 o más años, acordes a las descripciones de los apartados 3.6 o 3.7, que cumplen todas las exigencias incluidas en el apartado 4.1 relativas a la identificación geográfica y temporal, y que además han superado los procesos de control de calidad y validación (5.1.1 y 5.1.2).

La fuente de datos ha de tener un solape mínimo de un año con la campaña de medidas (doce meses distintos de enero a diciembre), de manera que permita la aplicación del procedimiento de cualificación de la serie estimada. Si la fuente de datos estimados no supera el proceso de cualificación, no podrá ser utilizada en la generación del ASR.

A *Cualificación de las estimaciones*

La cualificación de los datos de las estimaciones se centra en la comprobación del comportamiento horario de las series estimadas de irradiancia directa normal. Para ello, los datos horarios de cada mes (enero a diciembre) se comparan con los datos de la campaña de medidas en esos meses a través del cálculo del Bias en % (Ecuación 2).

$$Bias_{\%} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (V_{calculado}^i - V_{medido}^i)}{n \cdot \bar{V}_{medido}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Siendo n cada una de las horas o registros disponibles durante el mes de estudio.

El comportamiento de la fuente de estimación en el mes estudiado se considerará cualificado si el bias mensual en % es menor a 8 (Ecuación 3)

$$|Bias_{\%}| < 8 \quad \text{Ecuación 3}$$

B *Tratamiento de generación de ASR a partir de estimaciones*

En este procedimiento, como resultado de la cualificación de todos los meses se dispone del conocimiento del adecuado comportamiento horario de la serie estimada.

Para la generación del ASR a partir de la serie de estimaciones se empleará la misma metodología que al generar el ASR a partir de una campaña de medidas. Dicho procedimiento está detallado en el apartado 5.3.1.

C *Resultados y elaboración del fichero ASR*

Como resultado ha de obtenerse una serie anual por concatenación de 365 días válidos completos, que incluyen todas las variables simultáneas y cuyo valor anual de radiación se aproxime al valor anual representativo obtenido en el apartado 5.2 con una diferencia admisible entre ambos inferior al 2%.

Con estos datos se elaborará finalmente un fichero siguiendo todas y cada una de las indicaciones del apartado 4.3.

6.2. Descripción de los trabajos realizados

6.2.1. Cualificación de las estimaciones

Para calcular el ASR partiremos de las estimaciones en los cuatro emplazamientos una vez ya se ha realizado la validación y el control de calidad, y hayan sido corregidos con el factor de corrección obtenido de la correlación realizada con los datos de la campaña de medidas.

El ASR en valores horarios será el fichero de datos que utilizaremos para la simulación en SAM por lo que deberá ser un año lo más representativo posible de cada uno de los emplazamientos elegidos. Debido a esto tomaremos como año base el año calculado para el VMR y le aplicaremos un nuevo control en el que se calcularán varios estadísticos para ver que realmente este es un año representativo y óptimo para la simulación [15].

Con estos estadísticos se pretende ver las diferencias entre los datos estimados ya corregidos y los datos de la campaña de medidas y comprobar que la variabilidad de los datos estimados

una vez corregidos con respecto a los medidos es lo suficientemente pequeña como para mantener el año elegido en el VMR.

Estos estadísticos calculados son:

BIAS: este estadístico mide la diferencia entre los datos estimados corregidos y los datos de la campaña de medidas. En este caso las diferencias entre datos estimados y medidos podrán anularse ya que al mantener el signo de la desviación se contrarrestarán las negativas con las positivas. Este estadístico al eliminar gran parte de la variabilidad de los datos al permitir que se contrarresten las desviaciones negativas con las positivas, permitirá comprobar si los datos estimados están desfasados con respecto a los medidos y si existe una desviación global de la serie, lo que requeriría un ajuste a la serie completa [18].

$$Bias = \frac{\sum_1^n (Datos_{med} - Datos_{est})}{n^{\circ}Datos}$$

MAE: este estadístico también mide la desviación de los datos estimados con respecto a los medidos con la diferencia de que al contar las desviaciones en valor absoluto esta no podrán contrarrestarse y obtendremos la desviación total.

$$MAE = \frac{\sum_1^n ||Datos_{med} - Datos_{est}||}{n^{\circ}Datos}$$

RMSE: este estadístico es comparable al Bias con la diferencia de que cada una de las desviaciones horarias se elevará al cuadrado y una vez ya sumadas todas se calculará la raíz de la desviación total.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n (Datos_{med} - Datos_{est})^2}{n^{\circ}Datos}}$$

Si después del su cálculo se obtuviera algún resultado demasiado alto para alguno de los meses elegidos se procedería a sustituir este por el siguiente mes más adecuado según el procedimiento que se hubiera utilizado en ese caso, ya sea “corto” o “largo”.

A continuación se presentan las gráficas de los estadísticos ya mencionados de cada uno de los años, para cada una de las variables utilizadas y para cada uno de los emplazamientos incluidos en el estudio.

En las gráficas solo aparecerán representados los meses para los que disponemos tanto de datos medidos como estimados, y con ellas se determinará si los años definidos en el VMR pueden mantenerse para la generación del ASR asegurándonos de que los meses seleccionados mantengan unas desviaciones con respecto a los datos medidos que se ajusten a unos límites orientativos marcados.

Los límites estimados propuestos para los 3 estadísticos son (+30,-30) para el Bias, (+90,-90) para el MAE y (+160,-160) para el RMSE.

Navarra. Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)

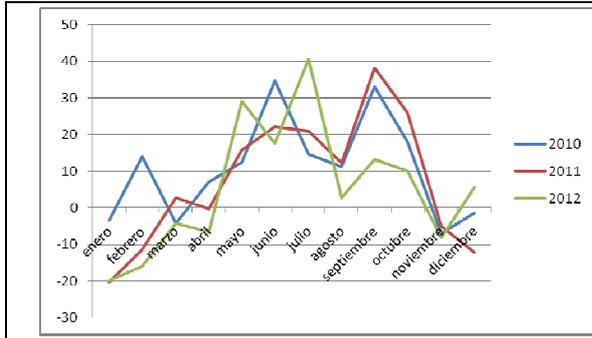


Figura 12. BIAS DNI Navarra

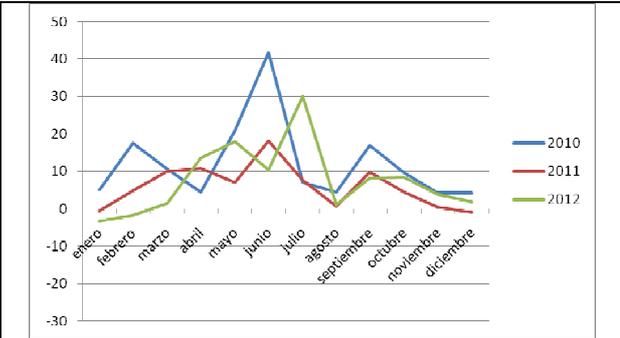


Figura 13. BIAS GHI Navarra

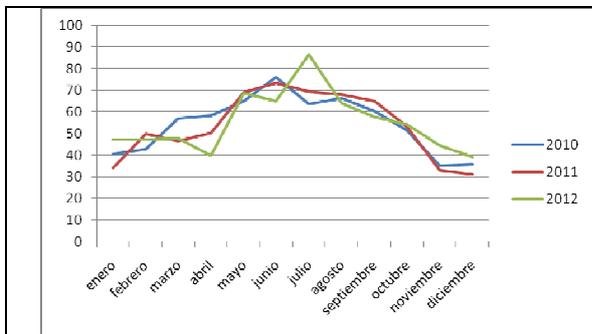


Figura 14. MAE DNI Navarra

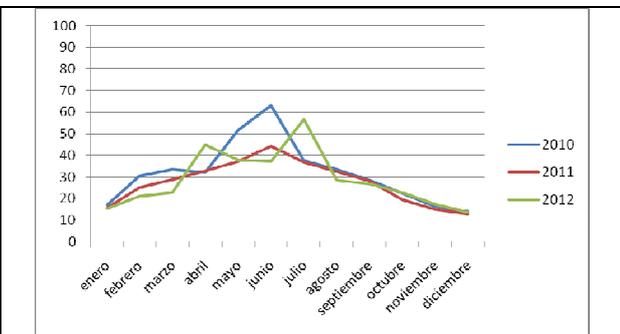


Figura 15. MAE GHI Navarra

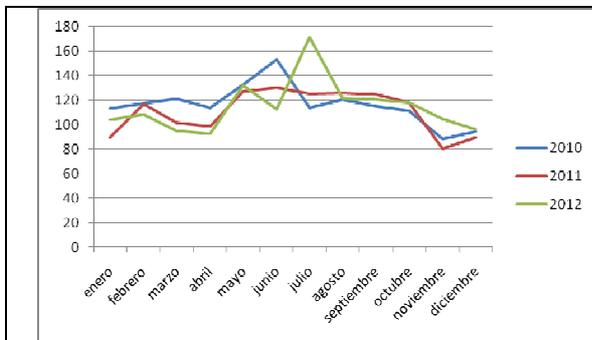


Figura 16. RMSE DNI Navarra

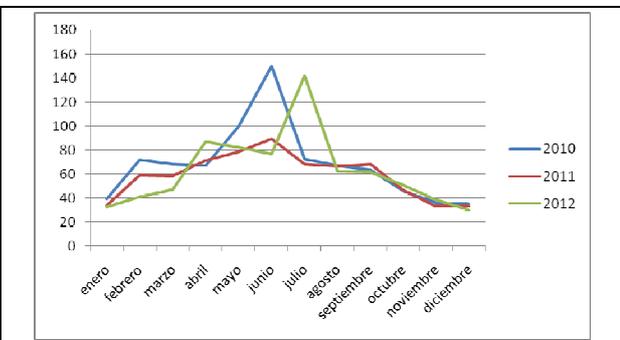


Figura 17. RMSE GHI Navarra

Como podemos ver para la variable DNI, algunos de los meses centrales poseen una desviación algo superior al límite marcado. A pesar de esto las desviaciones no son muy altas por lo que ninguno de los meses puede considerarse incorrecto. En el caso de la variable GHI todos los valores se mantienen por debajo de estos límites.

Soria. Centro de Energías Renovables (CEDER-CIEMAT)

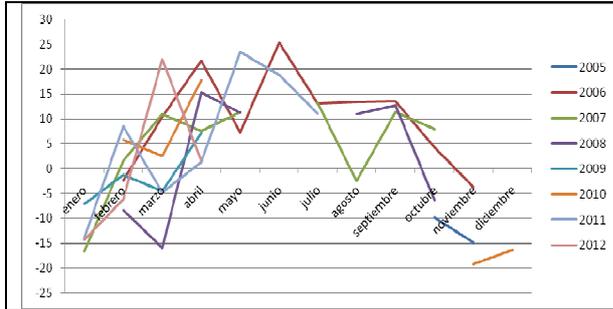


Figura 18. BIAS DNI Soria

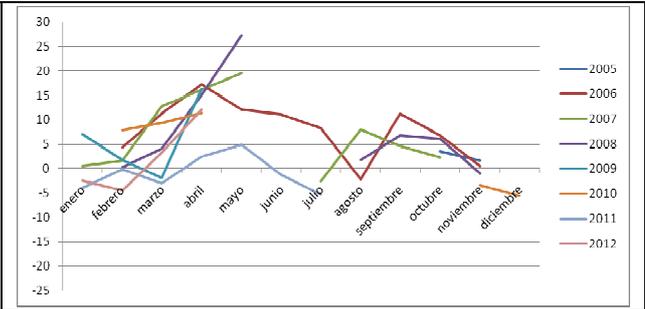


Figura 19. BIAS GHI Soria

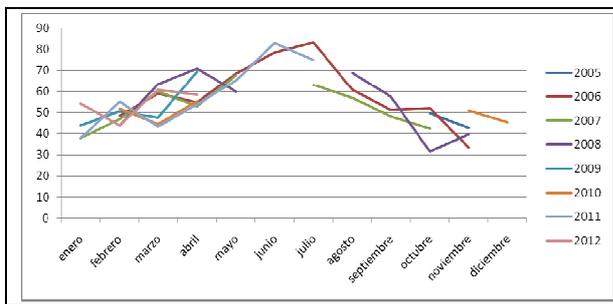


Figura 20. MAE DNI Soria

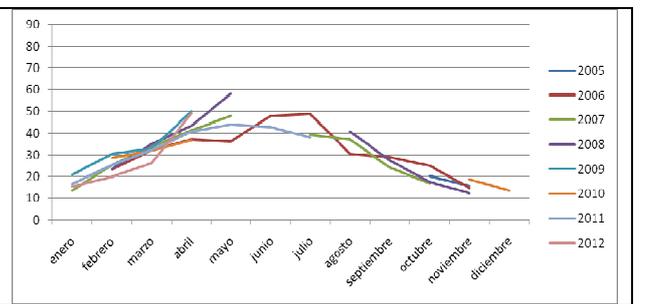


Figura 21. MAE GHI Soria

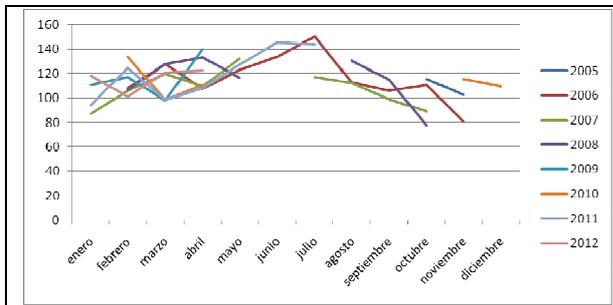


Figura 22. RMSE DNI Soria

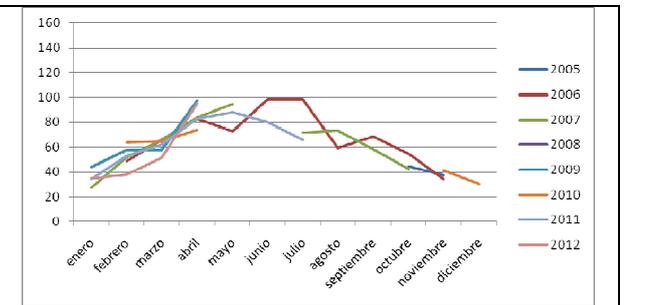


Figura 23. RMSE GHI Soria

En este caso la totalidad de los meses se sitúan por debajo del límite marcado por lo que todos los meses serán válidos para utilizarlos en la generación del ASR.

Sevilla. Promotor (SEVILLA)

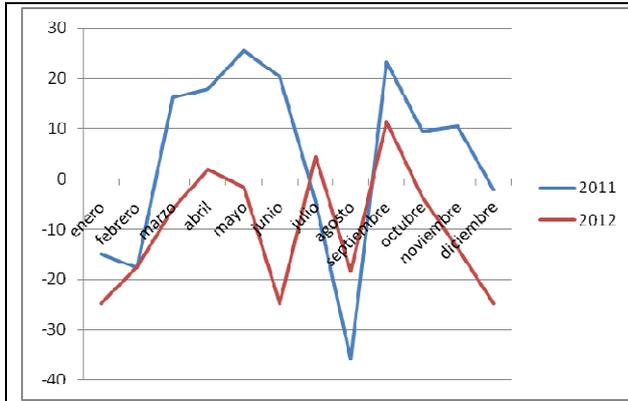


Figura 24. BIAS DNI Sevilla

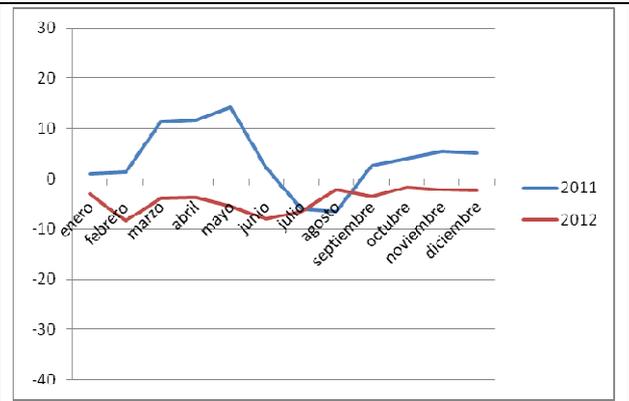


Figura 25. BIAS GHI Sevilla

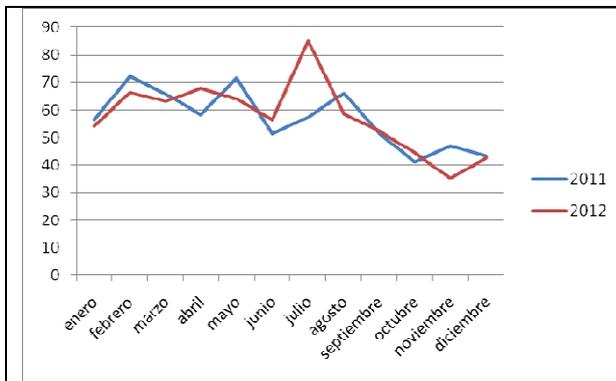


Figura 26. MAE DNI Sevilla

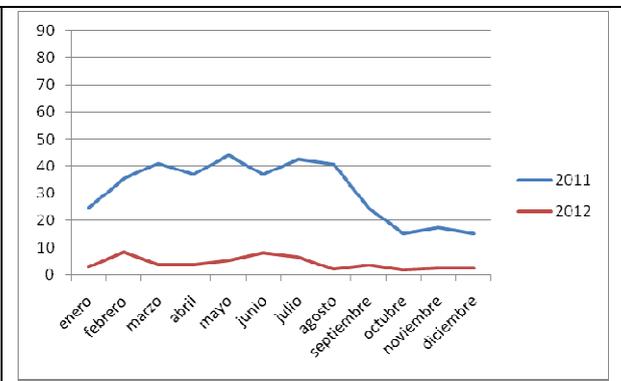


Figura 27. MAE GHI Sevilla

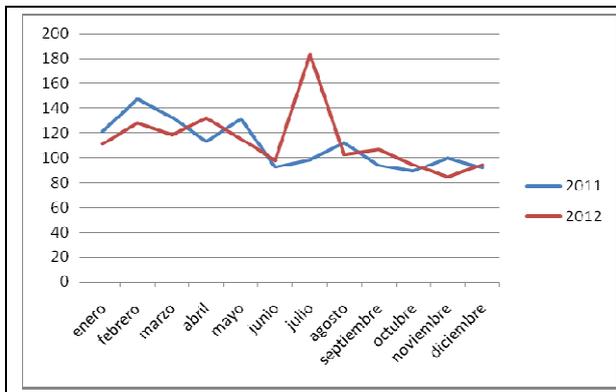


Figura 28. RMSE DNI Sevilla

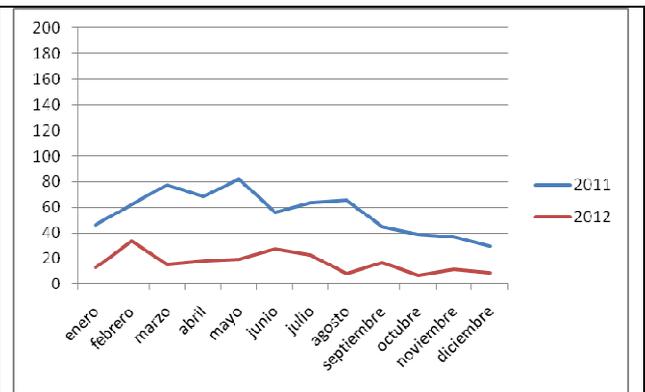


Figura 29. RMSE GHI Sevilla

En este caso al igual que en Navarra uno de los meses supera el límite establecido. Al ser esta desviación únicamente un 5% superior al límite, no se considerará ninguno de los meses como incorrecto.

Almería. Plataforma Sola de Almería (PSA)

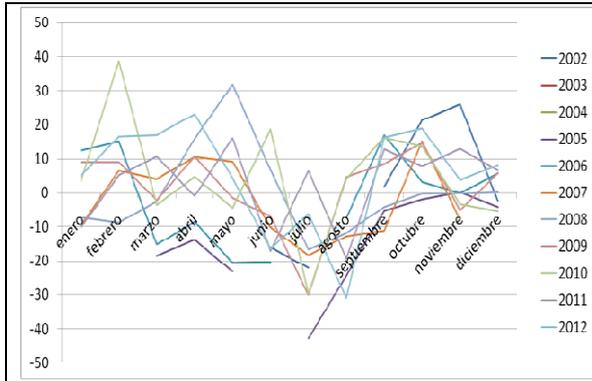


Figura 30. BIAS DNI Almería

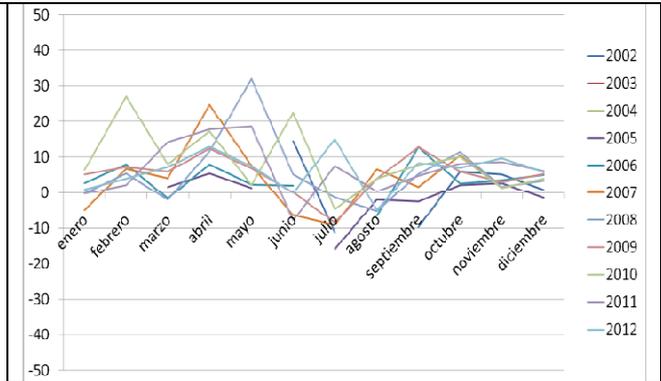


Figura 31. BIAS GHI Almería

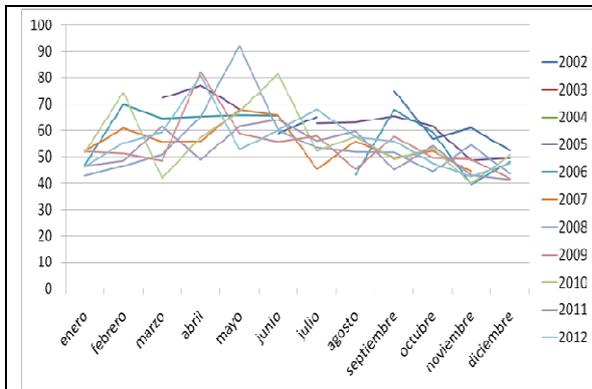


Figura 32. MAE DNI Almería

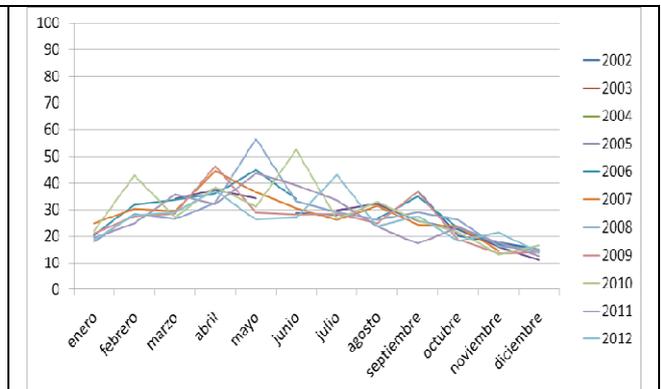


Figura 33. MAE GHI Almería

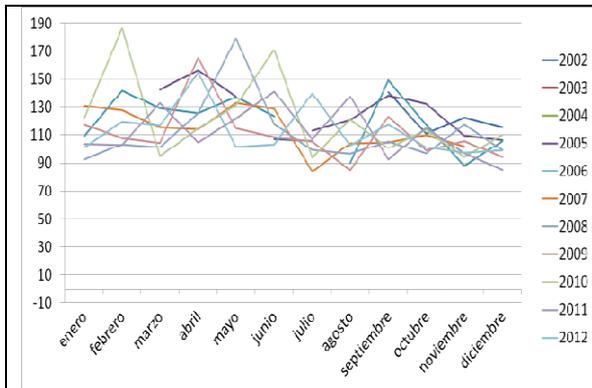


Figura 34. RMSE DNI Almería

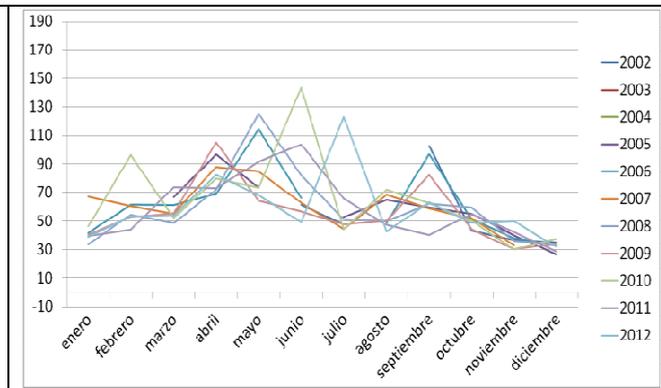


Figura 35. RMSE GHI Almería

Por último en Almería volvemos a tener algunos meses con una desviación superior al límite establecido. A pesar de esto las desviaciones no son muy altas por lo que ninguno de los meses puede considerarse incorrecto. En el caso de la variable GHI todos los valores se mantienen por debajo de estos límites.

A continuación se presenta un análisis de los estadísticos comparando los distintos emplazamientos en los años 2011 y 2012, para los datos de DNI y de GHI respectivamente. Con este estudio podremos ver con más detalle las diferencias con respecto a los datos medidos de cada uno de los emplazamientos para un mismo periodo, comprobando cuáles de ellos tienen una mayor desviación con respecto a ellos.

RADIACIÓN DIRECTA

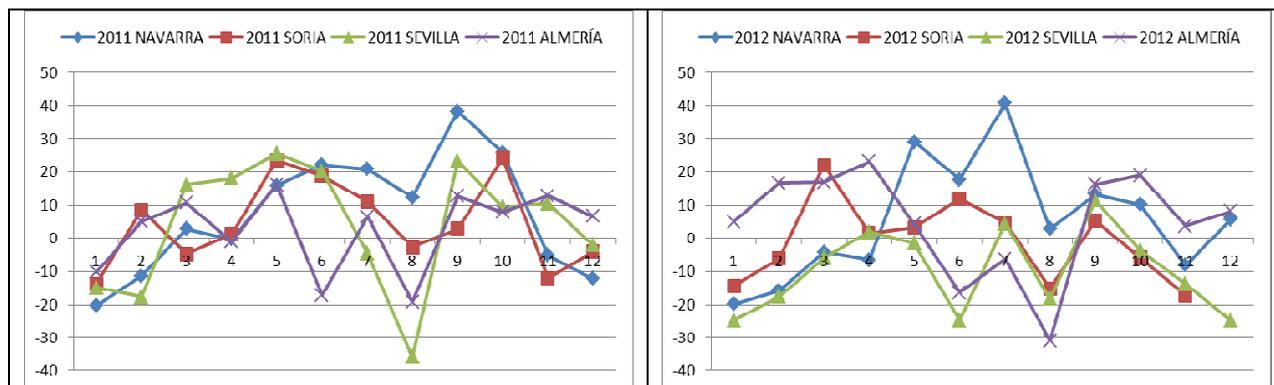


Figura 36. BIAS DNI 2011

Figura 37. BIAS DNI 2012

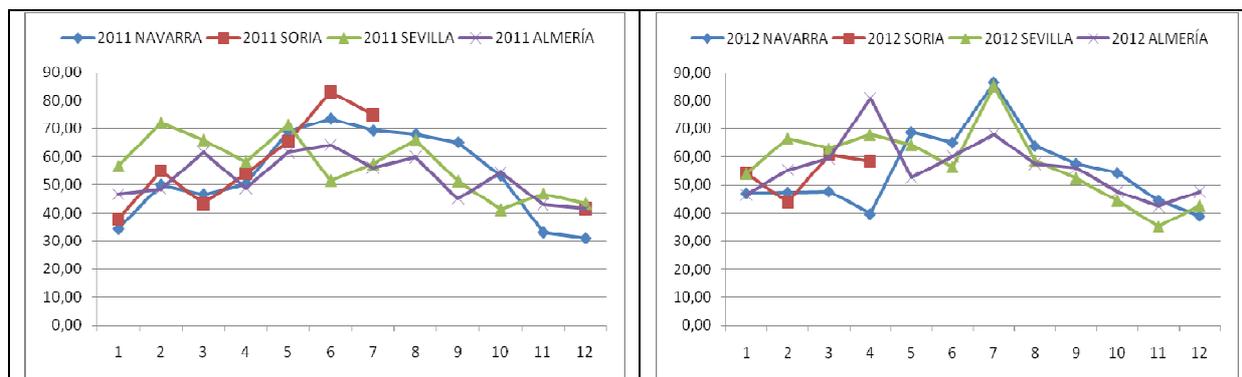


Figura 28. MAE DNI 2011

Figura 39. MAE DNI 2012

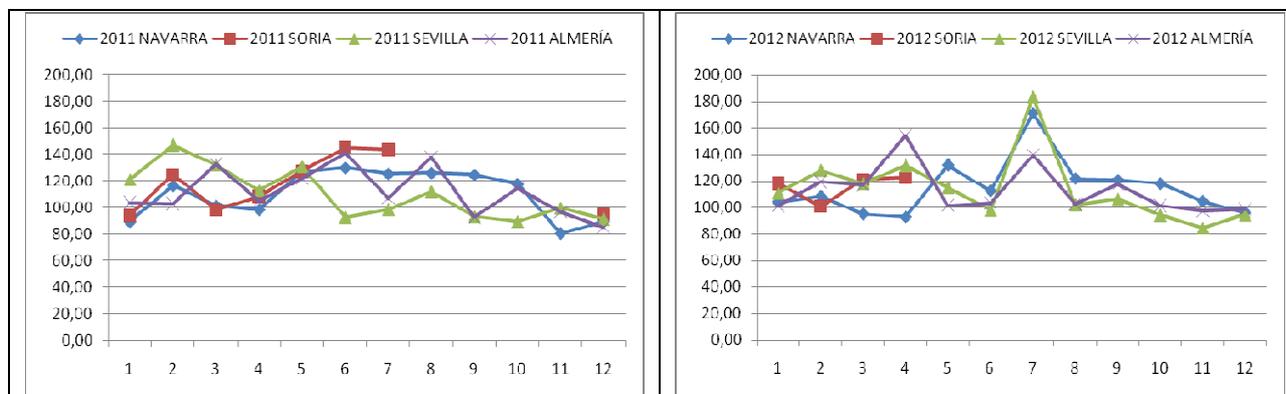


Figura 40. RMSE DNI 2011

Figura 41. RMSE DNI 2012

RADIACIÓN GLOBAL

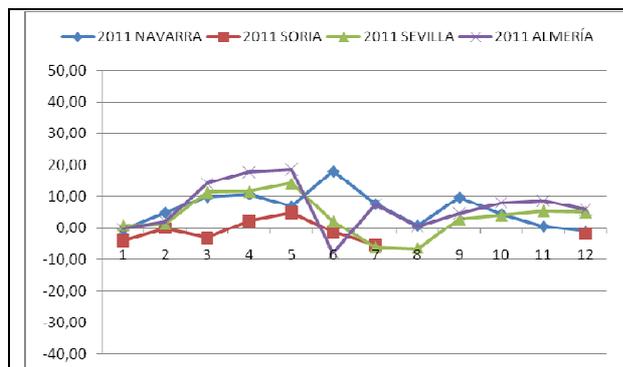


Figura 42. BIAS GHI 2011

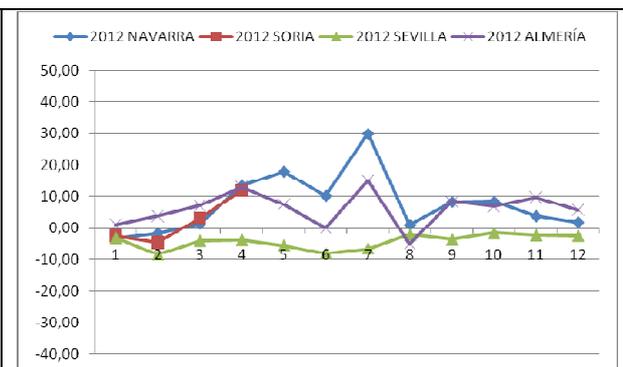


Figura 43. BIAS GHI 2012

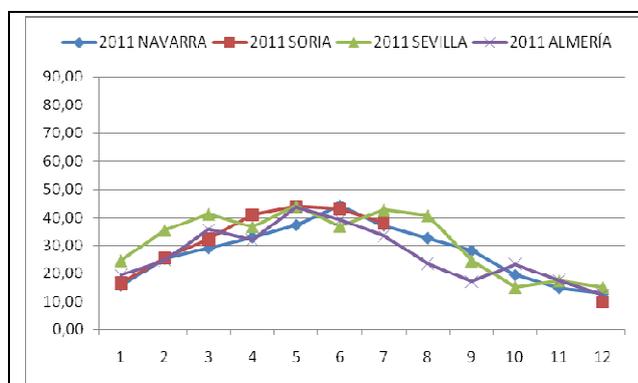


Figura 44. MAE GHI 2011

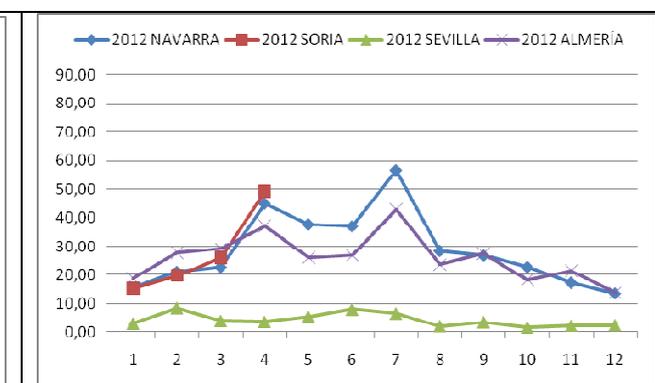


Figura 45. MAE GHI 2012

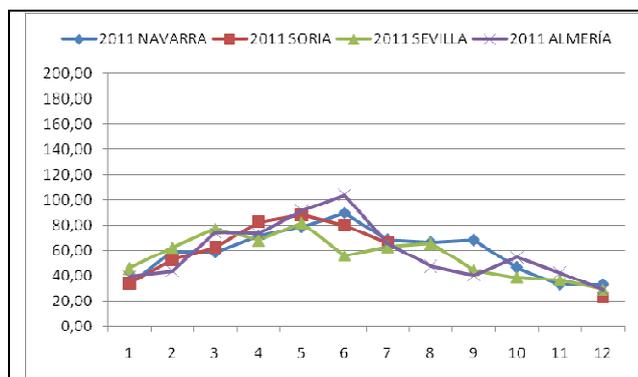


Figura 46. RMSE GHI 2011

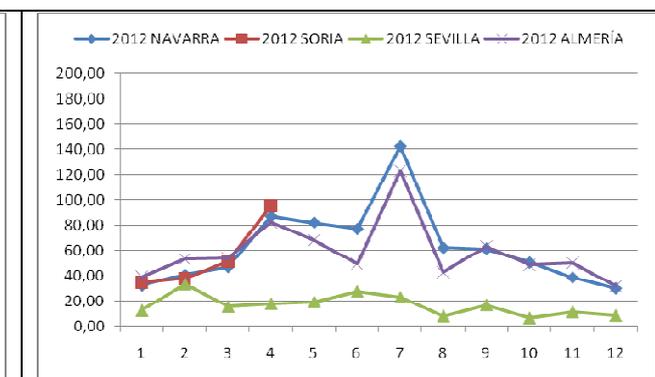


Figura 37. RMSE GHI 2012

Como hemos podido comprobar no ha sido necesario llevar a cabo ningún cambio en los meses elegidos ya que los resultados de los estadísticos para todos los meses calculados se han mantenido por debajo de los límites o muy cercanos, lo que indica que una vez corregidos los valores estimados son válidos para nuestras simulaciones.

6.2.2. Tratamiento de generación de ASR a partir de estimaciones

Finalmente hemos decidido utilizar el año que habíamos calculado en el apartado del VMR como año tipo para el ASR. Esto se debe a que se ha comprobado en la validación que todos los meses utilizados son válidos para la simulación.

También se ha realizado la sustitución de los días que no superaron la validación según la normativa para formar el ASR de datos horarios que utilizaremos para las simulaciones.

6.3. Conclusiones y modificaciones propuestas a la norma

Después de todos los estudios realizados en este apartado podemos concluir que todos los datos estimados una vez corregidos se ajustan adecuadamente a las series de datos medidos siendo las desviaciones globales de los datos horarios muy reducidas.

Esto no tendría por qué ser así en todos los casos ya que a pesar de haber corregido toda la serie de datos estimados para evitar cualquier desviación con respecto a la campaña de medidas, esto se hizo con un valor para la serie completa, por lo que si hubiera habido desajustes locales en ciertos periodos de la serie esto hubiera quedado reflejado en el cálculo de estos estadísticos.

Finalmente se ha comprobado que todos los meses de los que se disponen tanto de datos estimados como medidos han dado unos resultados suficientemente buenos como para incluirlos en la simulación.

Otra de las modificaciones que se ha llevado a cabo en relación a las directrices establecidas en la normativa base, es relativa a los estadísticos utilizados para la validación de los meses.

En primer lugar se variado la fórmula del Bias que se presenta en la normativa, ya que se entiende que la división entre el número total de horas del mes puede llevar a error teniendo en cuenta que se están contando horas en las que el valor de radiación es muy bajo, y por tanto la desviación será casi nula, con lo que el valor final medio de desviación calculado será inferior a la desviación media de los valores con peso sobre la simulación final de la producción de energía.

Además de esto se ha estimado oportuno el uso de otros estadísticos como el MAE o el RSME para el análisis de la validez de los meses seleccionados y así conseguir un estudio más completo sobre la desviación general de los datos utilizados.

Los estadísticos añadidos permitirán determinar la variabilidad total de los datos con mayor precisión ya que al utilizar valores absolutos para el cálculo de estas desviaciones, no se podrán contrarrestar entre las negativas y positivas, y por tanto se podrá calcular la desviación global de los datos eliminando la posibilidad del caso de que la variabilidad fuera alta pero que al contrarrestarse las desviaciones se obtuviera un valor de desviación media nulo.

Añadido a esto se ha establecido un margen para cada uno de los estadísticos con el objetivo de poder determinar lo bajas o altas que son las desviaciones de los meses estudiados. En nuestro caso los meses se han mantenido por debajo de este límite o muy cercano a él, por lo que podemos considerarlos válidos para continuar con la generación de los ASR.

7. Simulación de la energía producida por la central.

7.1. Descripción del entorno de simulación

Para la simulación de los datos obtenidos a partir de las imágenes por satélite se utilizará el software mencionado anteriormente llamado SAM [23].

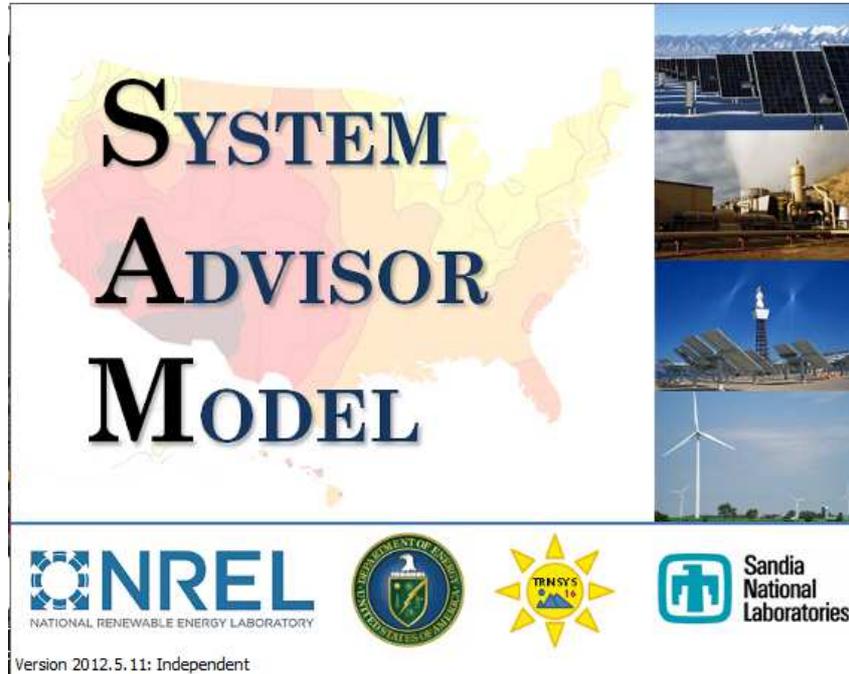


Fig 48: Software utilizado para la simulación

Este software está diseñado para la simulación de multitud de tecnologías y tipologías de centrales renovables permitiendo estimar tanto la energía generada de una central como sus costes. Para ello se necesitará diseñar la central introduciendo las características de los campos de espejos, dimensiones y características de sus principales componentes así como las características del sistema de almacenamiento si este fuera necesario. Además de esto habrá que complementar todos estos datos con datos meteorológicos del emplazamiento elegido para la central. Estos datos serán variables como velocidad de viento, presión atmosférica, humedad relativa, temperatura del aire y punto de rocío para cada uno de los emplazamientos. Estos datos se obtendrán de la página *EnergyPlus Energy Simulation Software* donde pueden obtenerse datos de variables tanto principales como secundarias de una gran cantidad de emplazamientos donde están ubicadas estaciones meteorológicas [21].

El área total del campo solar de la central tipo es de 329.240m². En este espacio se han colocado los 256 SCAs (Solar Colector Assembly) de los que consta la planta con un metro de distancia entre ellos, y con una separación de 17 metros entre los centros de cada fila. Cada una de estas filas tiene 4 SCAs o módulos.

Esta instalación solar operará entre unas temperaturas de 293°C a la entrada del circuito y de 393°C a la salida. La temperatura inicial de la central será de 75°C aproximadamente.

Para el ciclo de potencia se utilizará una turbina Siemens 400C que trabajará con una potencia de entrada de 133,833 MWt. Para este ciclo de potencia se estima un coeficiente de conversión de 37,36%.

Esta central no poseerá almacenamiento y su potencia nominal será de 50MWe, lo que supondrá una potencia neta de 45 MWe.

Una vez se han introducido todos los datos necesarios para la simulación, hay que determinar cuáles serán las variables de salida que vamos a utilizar. La variable principal de salida de las simulaciones con SAM elegida para realizar el estudio de producción de energía es “Gross Electric Output (GWh)”, ya que esta variable no tiene en cuenta las pérdidas fijas de la central y contabiliza únicamente la energía total que ésta producirá en cada periodo de tiempo. Esto significa que la energía generada en horas en que no haya radiación será 0 en lugar de los valores negativos que obtenemos en otras variables que sí contabilizan estas pérdidas. Esto elimina la posibilidad de obtener valores negativos de energía producida para cualquiera de los meses estudiados.

A parte de esta variable también se utilizará la variable “Annual Energy (GWh)” que sí tiene en cuenta las pérdidas de energía asociadas a una central termosolar, por lo que es posible que si en algún mes la energía producida fuera muy baja debido a las condiciones climáticas el dato de energía mensual generada fuera negativo. Esto significa que la energía generada es inferior a la energía necesaria para mantener en funcionamiento la central termosolar, esto por tanto será útil para ver la rentabilidad de la central en determinadas épocas.

En nuestro caso no vamos a tener en cuenta el aspecto económico de la central termosolar sino que simplemente se pretende comparar la producción energética de cada emplazamiento y procedimiento. A pesar de esto sí será interesante ver que en determinados emplazamientos con unos niveles de radiación solar bajos habrá meses en que los valores de energía producida neta sean inferiores a 0.

Hemos obtenido los datos de estas variables en valores anuales y mensuales. Esto además de una comparación global de la energía producida, nos ha permitido un estudio de las diferencias en la producción según el procedimiento en cada uno de los meses del año.

7.2. Resultados de la simulación

A continuación se presentan los resultados tanto de la variable “Gross Energy Output” como de la “Annual Energy” de los cuatro emplazamientos estudiados dividiendo cada uno de ellos en los seis casos de estudio que se han detallado anteriormente. Para cada uno de estos resultados se presentan tanto los valores de energía anual como de la energía mensual dividida en los seis procedimientos.

Navarra: Gross Energy Output

Tabla 21. Resultados de la producción energética anual de Navarra (Gross Energy).

NAVARRA	Gross energy (GWh)
DNI corto	62,75
DNI largo	63,67
GHI corto	63,53
GHI largo	66,46
DNI+GHI corto	64,26
DNI+GHI largo	64,14

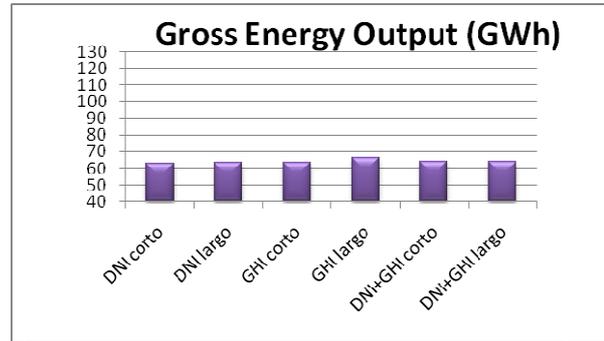


Figura 49. Producción energética anual de Navarra (Gross energy)

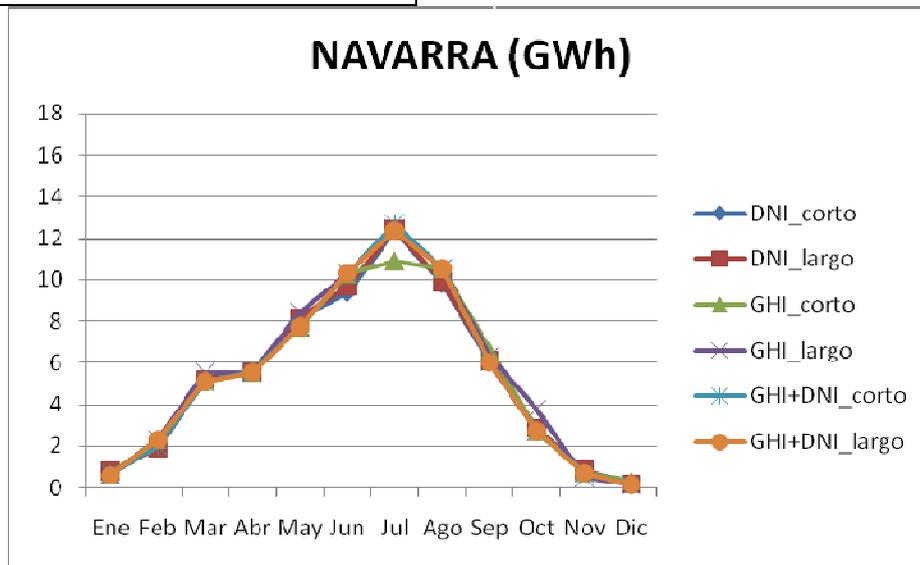


Figura 50. Producción energética mensual de Navarra (Gross Energy).

Tabla 22. Resultados de la producción energética mensual de Navarra (Gross Energy).

	DNI_corto	DNI_largo	GHI_corto	GHI_largo	GHI+DNI_corto	GHI+DNI_largo
Ene	0,68	0,79	0,66	0,60	0,68	0,60
Feb	1,99	1,92	2,30	2,30	1,99	2,30
Mar	5,13	5,21	5,13	5,54	5,13	5,13
Abr	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55	5,55
May	8,19	8,19	7,73	8,45	7,73	7,73
Jun	9,39	9,69	10,30	10,30	10,30	10,34
Jul	12,37	12,42	10,92	12,46	12,71	12,37
Ago	9,82	9,91	10,55	10,55	10,55	10,55
Sep	6,01	6,11	6,62	6,32	6,01	6,01
Oct	2,72	2,86	2,72	3,79	2,72	2,72
Nov	0,74	0,86	0,74	0,48	0,74	0,70
Dic	0,14	0,18	0,30	0,13	0,13	0,14

Navarra: Annual Energy

Tabla 23. Resultados de la producción energética anual de Navarra (Annual Energy)

NAVARRA	Annual energy (GWh)
DNI corto	52,78
DNI largo	53,63
GHI corto	53,50
GHI largo	56,19
DNI+GHI corto	54,16
DNI+GHI largo	54,06

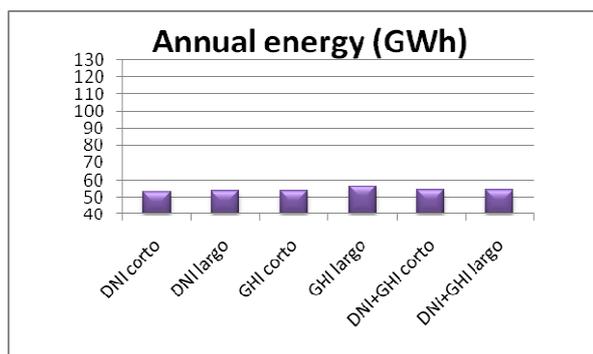


Figura 51. Producción energética anual de Navarra (Annual Energy).

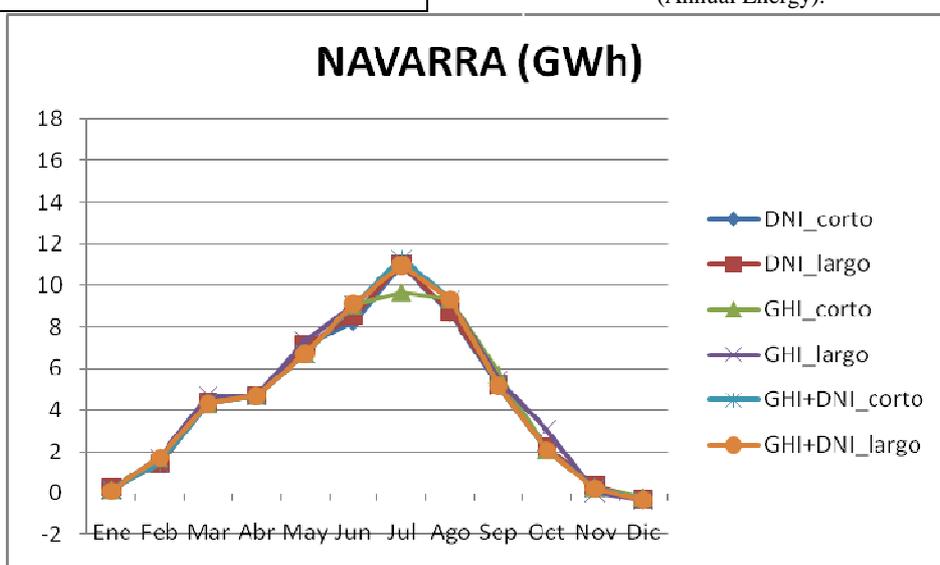


Figura 52. Producción energética mensual de Navarra (Annual Energy)

Tabla 24. Resultados de la producción energética mensual de Navarra (Annual Energy).

	DNI_corto	DNI_largo	GHI_corto	GHI_largo	GHI+DNI_corto	GHI+DNI_largo
Ene	0,18	0,27	0,16	0,10	0,18	0,10
Feb	1,44	1,36	1,72	1,72	1,44	1,72
Mar	4,31	4,38	4,31	4,70	4,31	4,31
Abr	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70	4,70
May	7,13	7,12	6,70	7,36	6,70	6,70
Jun	8,25	8,53	9,07	9,07	9,07	9,13
Jul	10,97	11,02	9,65	11,06	11,30	10,97
Ago	8,66	8,74	9,33	9,33	9,33	9,33
Sep	5,15	5,23	5,71	5,43	5,15	5,15
Oct	2,06	2,19	2,06	3,06	2,06	2,06
Nov	0,25	0,36	0,25	0,01	0,25	0,21
Dic	-0,32	-0,28	-0,17	-0,34	-0,34	-0,32

Soria: Gross Energy Output

Tabla 25. Resultados de la producción energética anual de Soria (Gross Energy).

SORIA	Gross energy (GWh)
DNI corto	81,37
DNI largo	80,68
GHI corto	76,81
GHI largo	79,60
DNI+GHI corto	81,55
DNI+GHI largo	81,04

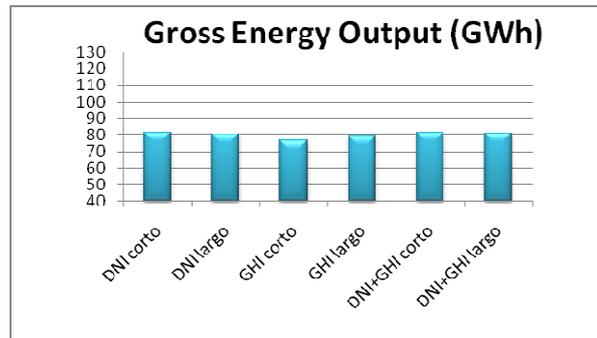


Figura 53. Producción energética anual de Soria (Gross Energy).

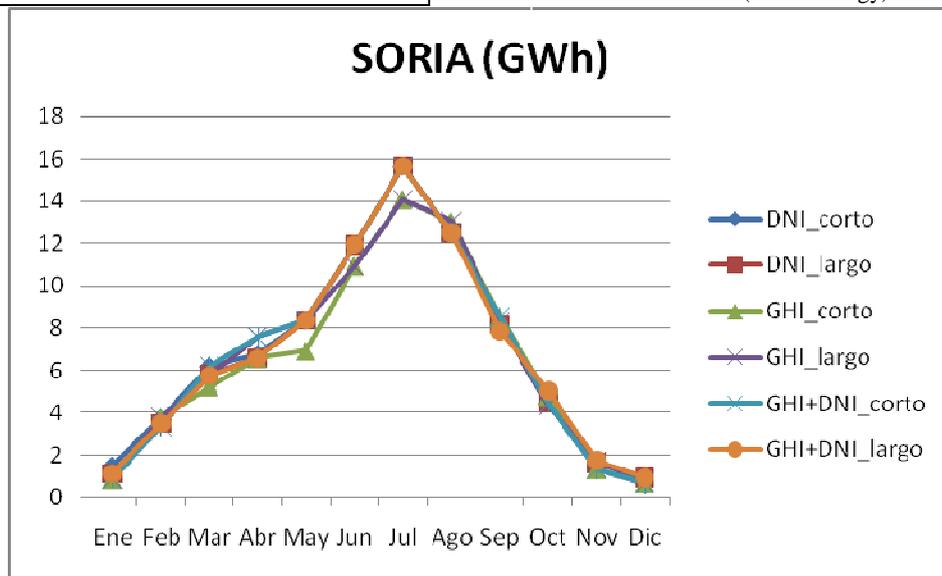


Figura 54. Producción energética mensual de Soria (Gross Energy).

Tabla 26. Resultados de la producción energética mensual de Soria (Gross Energy).

	DNI_corto	DNI_largo	GHI_corto	GHI_largo	GHI+DNI_corto	GHI+DNI_largo
Ene	1,50	1,14	0,86	0,86	0,86	1,14
Feb	3,74	3,50	3,78	3,78	3,38	3,50
Mar	6,20	5,79	5,24	5,76	6,20	5,76
Abr	6,79	6,58	6,58	7,60	7,60	6,58
May	8,38	8,38	6,93	8,38	8,38	8,38
Jun	11,95	11,92	10,94	10,94	11,95	11,95
Jul	15,66	15,66	14,10	14,10	15,66	15,66
Ago	12,50	12,50	13,04	13,07	12,50	12,50
Sep	8,20	8,20	8,50	8,30	8,50	7,85
Oct	4,47	4,47	4,79	4,35	4,47	5,04
Nov	1,33	1,61	1,33	1,75	1,33	1,75
Dic	0,65	0,92	0,71	0,71	0,71	0,92

Soria: Annual Energy

Tabla 27. Resultados de la producción energética anual de Soria (Annual Energy).

SORIA	Annual energy (GWh)
DNI corto	69,89
DNI largo	69,24
GHI corto	65,75
GHI largo	68,28
DNI+GHI corto	70,03
DNI+GHI largo	69,57

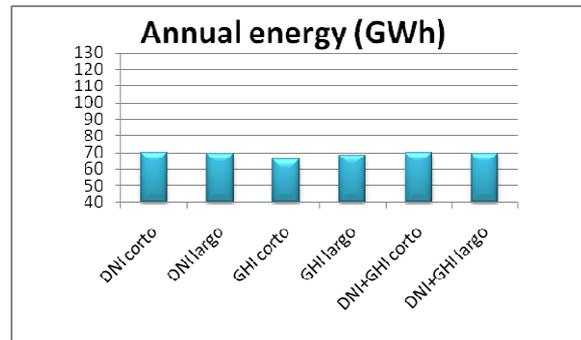


Figura 55. Producción energética anual de Soria (Annual Energy).

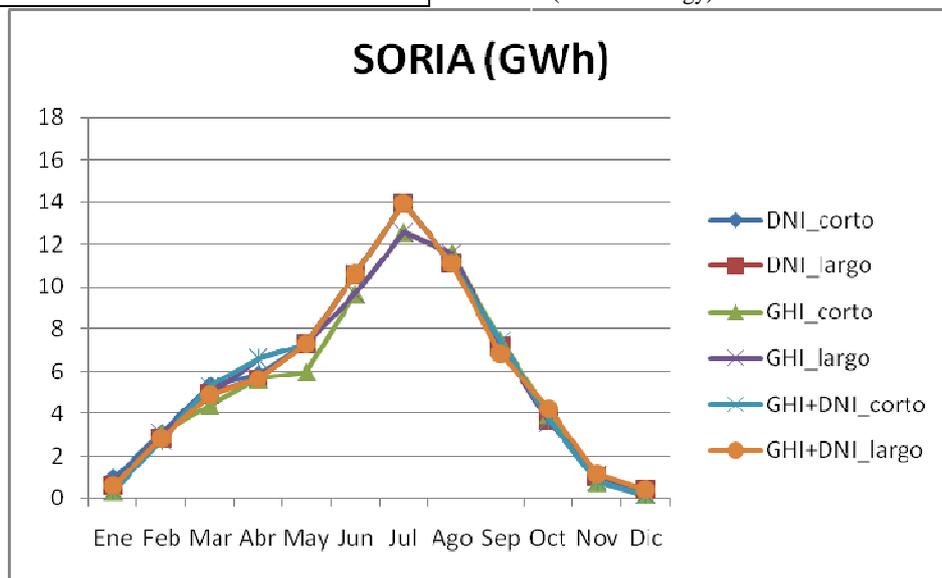


Figura 56. Producción energética mensual de Soria (Annual Energy).

Tabla 28. Resultados de la producción energética mensual de Soria (Annual Energy).

	DNI_corto	DNI_largo	GHI_corto	GHI_largo	GHI+DNI_corto	GHI+DNI_largo
Ene	0,93	0,60	0,34	0,34	0,34	0,60
Feb	3,06	2,83	3,09	3,09	2,72	2,83
Mar	5,31	4,92	4,41	4,89	5,31	4,89
Abr	5,85	5,65	5,65	6,59	6,59	5,65
May	7,29	7,29	5,98	7,29	7,29	7,29
Jun	10,59	10,57	9,67	9,67	10,59	10,59
Jul	13,95	13,95	12,58	12,58	13,95	13,95
Ago	11,12	11,12	11,60	11,61	11,12	11,12
Sep	7,17	7,17	7,45	7,27	7,45	6,85
Oct	3,69	3,69	3,99	3,58	3,69	4,23
Nov	0,79	1,05	0,79	1,18	0,79	1,18
Dic	0,15	0,40	0,20	0,20	0,20	0,40

Sevilla: Gross Energy Output

Tabla 29. Resultados de la producción energética anual de Sevilla (Gross Energy).

SEVILLA	Gross energy (GWh)
DNI corto	105,85
DNI largo	108,66
GHI corto	104,51
GHI largo	110,76
DNI+GHI corto	106,48
DNI+GHI largo	109,53

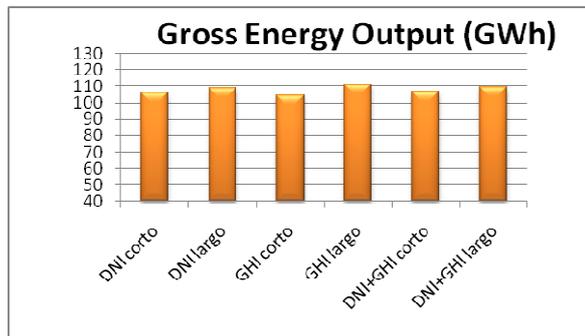


Figura 57. Producción energética anual de Sevilla (Gross Energy).

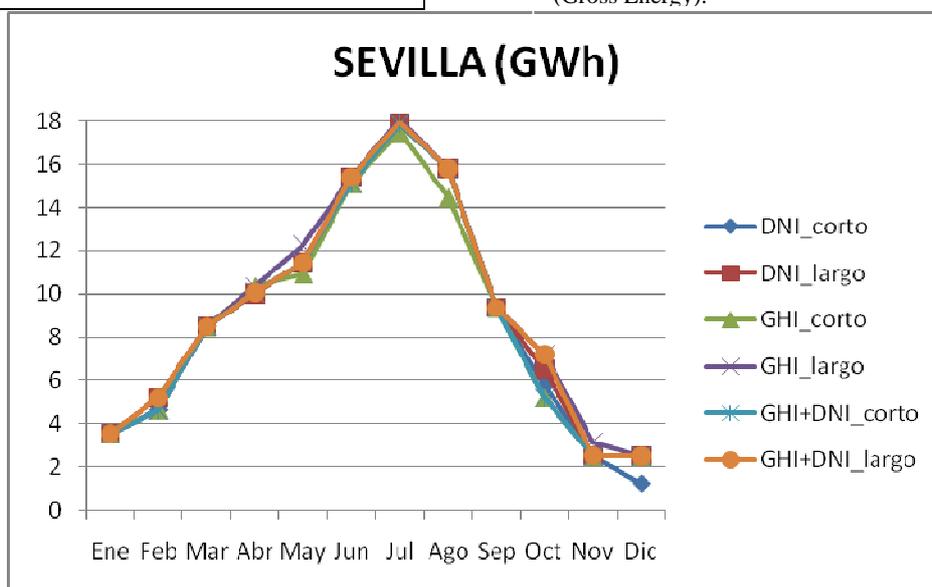


Figura 58. Producción energética mensual de Sevilla (Gross Energy).

Tabla 30. Resultados de la producción energética mensual de Sevilla (Gross Energy).

	DNI_corto	DNI_largo	GHI_corto	GHI_largo	GHI+DNI_corto	GHI+DNI_largo
Ene	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53	3,53
Feb	4,63	5,21	4,63	4,63	4,63	5,21
Mar	8,49	8,49	8,49	8,49	8,49	8,49
Abr	10,08	10,02	10,33	10,33	10,08	10,08
May	11,44	11,44	10,94	12,23	11,44	11,44
Jun	15,11	15,40	15,11	15,40	15,11	15,40
Jul	17,89	17,89	17,50	18,12	17,89	18,01
Ago	15,80	15,80	14,46	15,80	15,80	15,80
Sep	9,36	9,36	9,36	9,36	9,36	9,36
Oct	5,79	6,51	5,18	7,21	5,18	7,21
Nov	2,52	2,52	2,48	3,16	2,48	2,52
Dic	1,21	2,48	2,48	2,48	2,48	2,48

Sevilla: Annual Energy

Tabla 31. Resultados de la producción energética anual de Sevilla (Annual Energy).

SEVILLA	Annual energy (GWh)
DNI corto	92,23
DNI largo	94,77
GHI corto	91,04
GHI largo	96,65
DNI+GHI corto	92,80
DNI+GHI largo	95,62

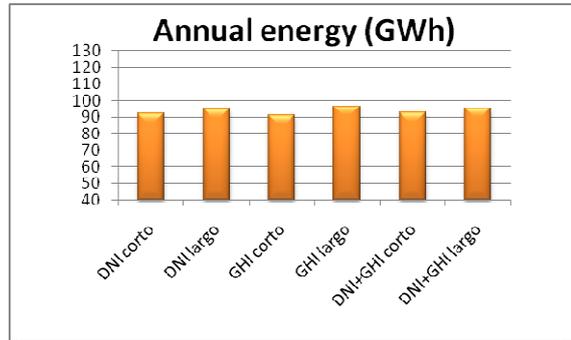


Figura 59. Producción energética anual de Sevilla (Annual Energy).

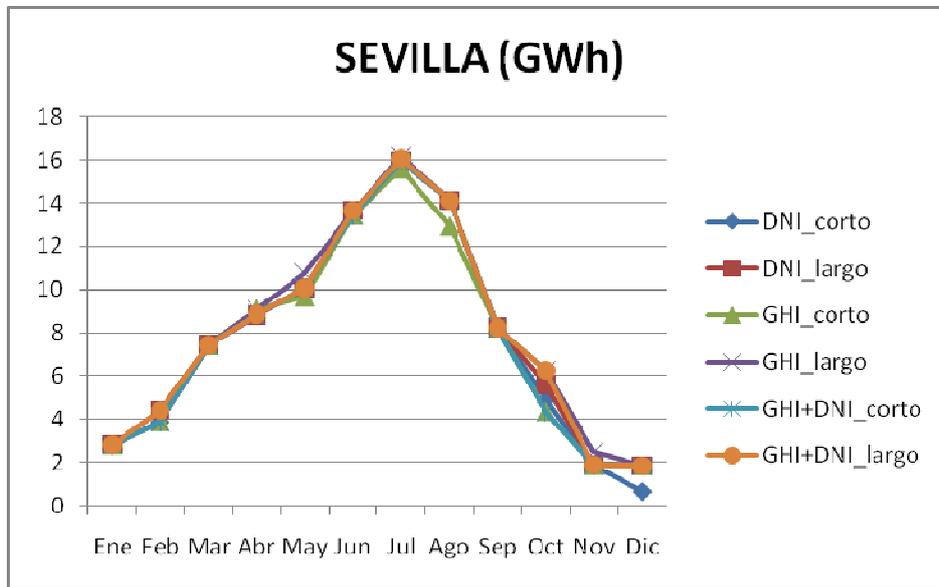


Figura 60. Producción energética mensual de Sevilla (Annual Energy)

Tabla 32. Resultados de la producción energética mensual de Sevilla (Annual Energy)

	DNI_corto	DNI_largo	GHI_corto	GHI_largo	GHI+DNI_corto	GHI+DNI_largo
Ene	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81	2,81
Feb	3,88	4,41	3,88	3,88	3,88	4,41
Mar	7,42	7,42	7,42	7,42	7,42	7,42
Abr	8,86	8,81	9,07	9,07	8,86	8,86
May	10,07	10,07	9,64	10,77	10,07	10,07
Jun	13,44	13,65	13,44	13,65	13,44	13,65
Jul	15,93	15,93	15,59	16,13	15,93	16,06
Ago	14,11	14,11	12,92	14,11	14,11	14,11
Sep	8,23	8,23	8,23	8,23	8,23	8,23
Oct	4,92	5,59	4,35	6,25	4,35	6,25
Nov	1,89	1,89	1,86	2,48	1,86	1,89
Dic	0,66	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84

Almería: Gross Energy Output

Tabla 33. Resultados de la producción energética anual de Almería (Gross Energy).

ALMERÍA	Gross energy (GWh)
DNI corto	111,06
DNI largo	110,51
GHI corto	109,75
GHI largo	111,27
DNI+GHI corto	110,56
DNI+GHI largo	109,85

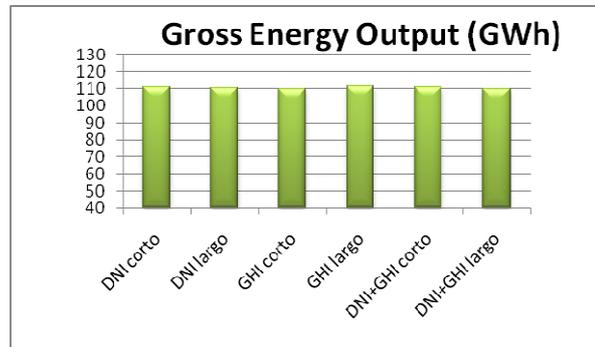


Figura 61. Producción energética anual de Almería (Gross Energy).

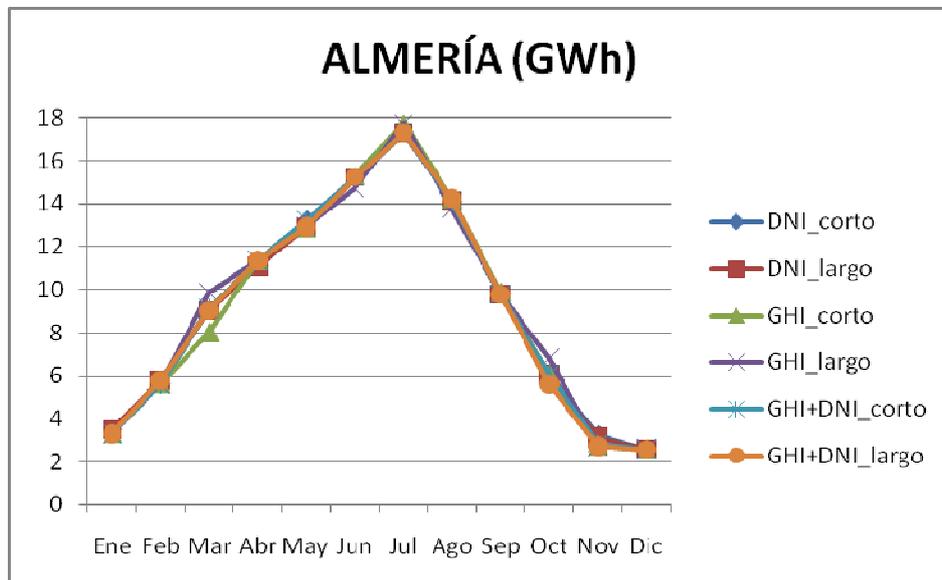


Figura 62. Producción energética mensual de Almería (Gross Energy).

Tabla 34. Resultados de la producción energética mensual de Almería (Gross Energy).

	DNI_corto	DNI_largo	GHI_corto	GHI_largo	GHI+DNI_corto	GHI+DNI_largo
Ene	3,50	3,50	3,30	3,30	3,30	3,30
Feb	5,61	5,77	5,61	5,61	5,61	5,77
Mar	9,04	9,04	8,02	9,86	9,12	9,04
Abr	11,36	11,09	11,36	11,36	11,36	11,36
May	13,23	12,90	12,90	12,91	13,23	12,91
Jun	15,24	15,24	15,32	14,77	15,24	15,24
Jul	17,30	17,30	17,74	17,74	17,30	17,30
Ago	14,12	14,12	14,25	13,80	14,12	14,25
Sep	9,78	9,78	9,90	9,78	9,78	9,78
Oct	6,06	6,06	6,06	6,82	6,06	5,60
Nov	3,24	3,13	2,72	2,72	2,86	2,72
Dic	2,57	2,57	2,57	2,60	2,57	2,57

Almería: Annual Energy

Tabla 35. Resultados de la producción energética anual de Almería (Annual Energy).

ALMERÍA	Annual energy (GWh)
DNI corto	97,34
DNI largo	96,85
GHI corto	96,08
GHI largo	97,52
DNI+GHI corto	96,87
DNI+GHI largo	96,20

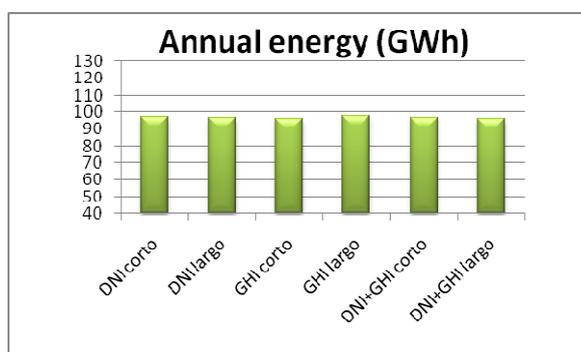


Figura 63. Producción energética anual de Almería (Annual Energy).

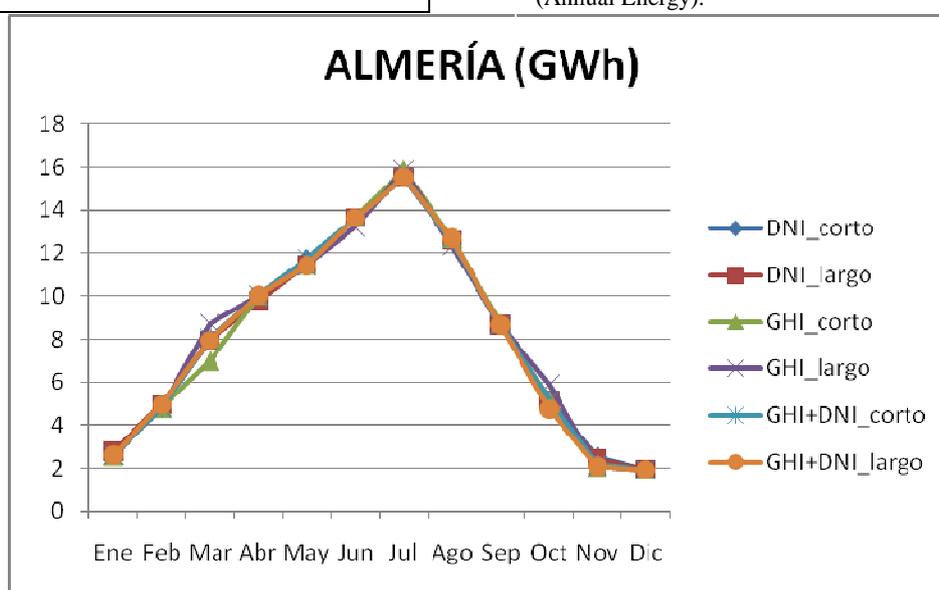


Figura 64. Producción energética mensual de Almería (Annual Energy).

Tabla 36. Resultados de la producción energética mensual de Almería (Annual Energy).

	DNI_corto	DNI_largo	GHI_corto	GHI_largo	GHI+DNI_corto	GHI+DNI_largo
Ene	2,78	2,78	2,60	2,60	2,60	2,60
Feb	4,80	4,95	4,80	4,80	4,80	4,95
Mar	7,95	7,95	6,98	8,70	8,01	7,95
Abr	10,03	9,78	10,03	10,03	10,03	10,03
May	11,74	11,46	11,46	11,44	11,74	11,44
Jun	13,63	13,63	13,69	13,19	13,63	13,63
Jul	15,50	15,50	15,89	15,89	15,50	15,50
Ago	12,60	12,60	12,70	12,32	12,60	12,70
Sep	8,65	8,65	8,75	8,65	8,65	8,65
Oct	5,18	5,18	5,18	5,88	5,18	4,75
Nov	2,55	2,46	2,08	2,08	2,21	2,08
Dic	1,92	1,92	1,92	1,95	1,92	1,92

7.3. Conclusiones de la simulación

Como podemos ver en las gráficas de Gross Energy Output y Annual Energy no existe una tendencia clara que indique una mayor producción de ninguno de los seis procedimientos estudiados, por lo que según los resultados obtenidos podrían suponerse equivalentes a la hora de generar los ASR a falta de más estudios que puedan definir mejor las diferencias.

Esto nos indica que ninguna de las dos variables tenidas en cuenta para cada uno de los procedimientos tiene una mayor influencia que la otra en el resultado final, por lo que la desviación con respecto a los valores medidos y la suma total de radiación mensual son variables equivalentes a la hora de la generación de los ASR.

Como podía esperarse la energía producida en los emplazamientos de Almería y Sevilla es muy superior a la producida en los emplazamientos de Navarra y Soria.

A continuación se presenta un estudio con las desviaciones de energía generada con respecto a la energía generada mediante las series medidas, en función del procedimiento elegido para la generación del ASR.

SORIA	Desviación (%)
DNI corto	-1,57%
DNI largo	-2,42%
GHI corto	-7,09%
GHI largo	-3,72%
DNI+GHI corto	-1,36%
DNI+GHI largo	-1,98%

NAVARRA	Desviación (%)
DNI corto	-14,57%
DNI largo	-13,31%
GHI corto	-13,51%
GHI largo	-9,52%
DNI+GHI corto	-12,52%
DNI+GHI largo	-12,68%

SEVILLA	Desviación (%)
DNI corto	-8,73%
DNI largo	-6,31%
GHI corto	-9,88%
GHI largo	-4,50%
DNI+GHI corto	-8,19%
DNI+GHI largo	-5,55%

ALMERÍA	Desviación (%)
DNI corto	-1,36%
DNI largo	-1,86%
GHI corto	-2,53%
GHI largo	-1,18%
DNI+GHI corto	-1,81%
DNI+GHI largo	-2,44%

Las desviaciones siguen la misma tendencia en cada uno de los emplazamientos que las obtenidas comparando los VMR calculados con interioridad. A pesar de esto estas diferencias tienen diferente grado de influencia en los resultados de energía producida siendo Navarra y Sevilla los emplazamientos que sufren una mayor diferencia con respecto a los resultados obtenidos a partir de los datos medidos. Esto es debido principalmente a que para estos emplazamientos solo se disponía de 2 y 3 años de datos estimados por lo que la variabilidad

de estos es mayor. Por el contrario para los emplazamientos de Soria y Almería se disponía de 8 y 10 años respectivamente por lo que los resultados son más consistentes.

8. Conclusiones generales

En esta conclusión final intentaremos recoger los resultados obtenidos en cada de los apartados del proyecto resumiendo todas las conclusiones obtenidas.

Apartado 5

En el apartado 5 se determinó que las series de datos utilizadas eran adecuadas para el estudio y precisas en comparación con los datos medidos. Esto se hizo en primer lugar a partir de los procedimientos de validación donde la gran mayoría de los días fueron validados siendo necesario el cambio de muy pocos. En segundo lugar se demostró que la correlación de los datos estimados con respecto a los medidos era muy alta ya que se obtuvieron unos valores de R^2 muy cercanos a 1. A partir de este resultado se vió la posibilidad de utilizar este parámetro como indicativo de la calidad de las series utilizadas pudiendo marcar un límite por debajo del cual estas series quedarían invalidadas.

En este mismo apartado se ha estudiado la diferencia en los resultados obtenidos según el procedimiento utilizado para la generación de los VMR, obteniéndose unas variaciones medias del 50% en cada cambio de procedimiento.

Por último se ha comprobado que los métodos estudiados de ajuste de la serie estimada mediante los datos horarios y diarios son equivalentes, lo que permitiría realizar las correlaciones directamente sobre los datos horarios, ahorrándonos el paso de generar los datos horarios a partir de los diarios ajustados. Esto se ha determinado después de comprobar que en 7 de los 8 casos pueden considerarse equivalentes los resultados no cumpliéndose esto por muy poco en el último de los casos.

Apartado 6

Para el apartado 6 se han seguido analizando los datos gracias al estudio de los estadísticos.

En este punto se ha decidido que una mejora con respecto a la normativa sería ampliar en número de estadísticos utilizados añadiendo el MAE y el RMSE al Bias. Con esto se consigue un estudio más completo de la precisión de nuestras series estimadas permitiendo asegurar que todos los meses seleccionados para la simulación final son representativos de cada uno de los emplazamientos.

Además de esto se ha decidido modificar la fórmula del cálculo del Bias teniendo en cuenta que la división entre el número total de horas del mes puede llevar a error ya que se están contando horas en las que el valor de la radiación es muy bajo o nulo, en las que la desviación será casi nula, con lo que se estará reduciendo la desviación verdadera que tendrán los valores de las horas con radiación.

Después de estos análisis de los datos con los estadísticos y como prueba de su precisión, todos los meses analizados para el proyecto han resultado válidos para formar parte de las series finales de simulación, obteniéndose unos estadísticos lo suficientemente bajos con respecto a los límites propuestos como para no ser necesario descartar ninguno de ellos.

Todo esto nos hace ver que las imágenes por satélite podrían tenerse en cuenta para el análisis de posibles emplazamientos de futuras centrales, permitiendo realizar unas estimaciones de energía generada lo suficientemente precisas como para incorporarlas a las herramientas de decisión que nos permitirán dar el visto bueno a uno de estos proyectos. A pesar de esto se recomienda como apoyo al cálculo, acompañarlas de simulaciones a partir de datos medidos ya que la variabilidad de las estimaciones podrá variar dependiendo del emplazamiento elegido.

Apartado 7

Como conclusiones de las simulaciones realizadas en SAM, no se ha podido detectar una diferencia significativa entre los ASR generados según el procedimiento “corto” y “largo”, por lo que aunque no hay nada confirmado, se podría concluir que para este grupo de datos ambos procedimientos son equivalentes en la generación de los ASR. Este punto queda a la espera de que se siga estudiando la influencia de cada uno de los procedimientos en trabajos posteriores.

En referencia a las desviaciones de energía con respecto a las series medidas se ha observado que los emplazamientos que han sufrido unas desviaciones más altas son justamente los emplazamientos de los que se disponía unas series más cortas, no superando los 3 años de datos. Por el contrario para los emplazamientos de los que se disponía de más de 8 años se han obtenido unas desviaciones más reducidas.

9. Propuesta de redacción de la norma

A continuación se exponen de manera resumida los puntos de la norma para los que se ha creído oportuno la modificación de sus enunciados o la ampliación de algunos de los requisitos que en ella se recogen.

- Continuar con el estudio de la influencia del uso del método “corto” o “largo”.
- Establecimiento de un límite para el parámetro R^2 en el ajuste de los datos estimados con los medidos.
- Dar la posibilidad de realizar el ajuste de los datos medidos con los datos horarios contemplándolo como un procedimiento válido en la norma.
- Añadir más estadísticos como el MAE o el RMSE para realizar un análisis más completo de las desviaciones de las series.
- Establecer límites para los estadísticos empleados con el objetivo de poder determinar la precisión de las series utilizadas.
- Modificar la fórmula del Bias para ajustar mejor el peso de cada variable involucrada.

10. Bibliografía

- 1 Beckman W.A., Bugler J. W., Cocper P. I., Duffie J. A., Dunkle R. V., Glaser P. E., Horigome T., Howe E. D., Lawand T. A., Van Der Mersch P. L., Page J. K., Sheridan N. R., Szokolay S. V. and Ward G. T. Units and symbols in solar energy. Solar Energy, Technical Note. Vol. 21, pp. 65-68.
- 2 Glossary of terms used in solar energy. (1984). Solar Energy Vol. 33, No. 1, pp. 97-114.
- 3 Units and symbols in solar energy. (2002). Solar Energy Vol. 73, No. 1, pp. III-V.
- 4 Hall I. J., Prairie R. R., Anderson H. E. and Boes E. C., (Report 1978). Generation of typical meteorological years for 26 SOLMET station. Sandia Laboratories Report SAND 78-1601. Albuquerque (USA).
- 5 Marion W., and Urban K., (Report 1985). User's Manual for TMY2s. Typical Meteorological Years. NREL/TP-463-7668, National Renewable Energy Laboratory, Golden CO.
- 6 Finkelstein J.M., Schafer R.E. (1971). Improved Goodness-of-Fit Tests. Biometrika, 58(3), pp. 641-645.
- 7 Wilcox, S. and Marion, W., (Report 2008). User's Manual for TMY3 data Sets. NREL/TP-581-43156, National Renewable Energy Laboratory, Golden CO.
- 8 Perez R, Seals R, Zelenka A (1996) Comparing satellite remote sensing and ground network measurements for the production of site/time specific irradiance data. Solar Energy Vol.60, No 2, pp 89-96, 1997.
- 9 Iqbal M. (1983). An introduction to solar radiation. Academic Press. ISBN: 0-12-373750-8.
- 10 Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. WMO World Radiation Data Centre. Solar Radiation and Radiation Balance Data. October - December 2010. ISSN 0235 – 4519.
- 11 Organización Meteorológica Mundial (1998). Reglamento Técnico de la OMM. Documentos. Fundamentales no 2; Vol. I-Generalidades.
- 12 Stoffel T., Renné D., Myerrs D., Wilcox S., Senguptta M., George R., Turchi C. (2010). Concentrating Solar Power. Best Practices Handbook for the Collection and Use of Solar Resource Data. Technical Report NREL/TP-550-47465.
- 13 Gueymard,C. (2011). Irradiance variability and its dependence on aerosols. SolarPaces, Granada (Spain).
- 14 Pagola I., Gastón M., Fernández-Peruchena C., Moreno S., Ramírez L. (2010). New methodology of solar radiation evaluation using free access databases in specific locations. Renewable Energy 35 2792-2798.
- 15 Peña, D. (1995). Estadística Modelos y Métodos. Alianza Universidad Textos. ISBN: 84-206-8993-1.
- 16 Spencer, J. W. (1971). Fourier series representation of the position of the sun. Search. 2, 172. 17 Salazar, D. (2008). Navegación aérea, cartografía y cosmografía. Universitat Politècnica de Catalunya (EPSC-UPC), Castelldefels (España).

- 17 Varios autores. (1999). Diccionario esencial de las ciencias. Editado por: Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Espasa Calpe, Madrid (España).
- 18 National Energy Board. Canada. Disponible [Internet] <<http://www.neb-one.gc.ca/clf-nsi/rpblctn/ctsndrgltn/rgltnsndgdlnsprsnttthrc/ffshrphsclnvrnmntgdln2008/ffshrphsclnvrnmntgdln2008ppnda-eng.html>>
- 19 Investigación y Recursos Solares Avanzados. España. Disponible [Internet] <<http://irsolav.com/>>
- 20 Mathworks. Manual matlab. Disponible [Internet] <<http://www.mathworks.es/index.html>>
- 21 U.S Department of energy. Energy Efficiency and Renewable Energy. Disponible [Internet] <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm>
- 22 Foro Energías Renovables. España. Disponible [Internet] <<http://www.solarweb.net/termosolar.php>>
- 23 NREL. National Renewable Energy Laboratory. System Advisor Model (SAM) Disponible [Internet] <<https://sam.nrel.gov/>>

11. Anexos

11.1. Anexo 1: Código fuente de la programación realizada en Matlab.

En este anexo se presentará el código de los diferentes programas creados para el tratamiento de los datos y cálculo de las variables utilizadas en el proyecto.

Programa 1: Aplica_corrección.m

```
% -----
% GUILLERMO IBÁÑEZ GALLARDO
% NIA: 100072569
% PROYECTO FINAL DE MÁSTER
% UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
% -----
% FUNCIÓN: APLICA LA CORRELACIÓN QUE CORRIGE LOS DATOS ESTIMADOS CON
% RESPECTO A LOS DATOS MEDIDOS.
% FUENTE: IRSOLAV
% -----
% ENTRADAS:
% Datos in: Datos estimados sin corregir
% GHI_fac, DNI_fac: Coeficientes de corrección
% SALIDAS:
% Datos out: Datos corregidos con los parámetros
%-----
% Ruta de los archivos estimados
ruta(1,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de
Máster\Datos_finales\Datos_estimados_finales\';
ruta(2,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de
Máster\Datos_finales\Datos_estimados_finales\';
ruta(3,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de
Máster\Datos_finales\Datos_estimados_finales\';
ruta(4,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de
Máster\Datos_finales\Datos_estimados_finales\';
% Nombre de los archivos estimados
n_file(1,:)='CENER-IRS';
n_file(2,:)='PLANTA-IRS';
n_file(3,:)='PSA00-IRS';
n_file(4,:)='SORIA-IRS';
% Constantes utilizadas en el programa
anno_ini=1994;
anno_fin=2013;
GHI_fac=[1.0012 1.0282 1.0054 0.9945];
DNI_fac=[0.9583 1.0570 0.9981 0.9429];
% -----
% CÓDIGO
for i=2:4
    filename_in=strcat(ruta(i,:),n_file(i),'-01.xlsx');
    filename_out=strcat(ruta(i,:),n_file(i),'-03.xlsx');
    for anno=anno_ini:anno_fin % va recorriendo años
        annostr=num2str(anno); % año en que estoy
        disp(anno)
        datos_in=xlsread(filename_in,annostr); %lee la hoja del año
        correspondiente
```

```

    datos_out(:,1:4)=datos_in(:,1:4);
    datos_out(:,5)=datos_in(:,5)*GHI_fac(i); % aplica el factor
    datos_out(:,6)=datos_in(:,7)*DNI_fac(i); % aplica el factor

    xlswrite(filename_out,datos_out,annostr); %lee la hoja del año
correspondiente
    end
end

```

Programa 2: Lectura_estimados.m

```

% -----
% GUILLERMO IBÁÑEZ GALLARDO
% NIA: 100072569
% PROYECTO FINAL DE MÁSTER
% UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
% -----
% FUNCIÓN: PROGRAMA QUE LEE DATOS DE RADIACIÓN DE HOJAS EXCEL
% FUENTE: IRSOLAV
% CONSIDERACIONES DEL PROGRAMA:
% -TIPO DE DATOS: HORARIOS
% -UNA HOJA POR AÑO DE DATOS
% -CONSIDERA QUE PUEDAN ESTAR DESORDENADOS
% -CONSIDERA QUE PUEDA HABER HUECOS
% -CONSIDERA QUE HAYA VARIOS DATOS PARA UN INSTANTE
% -----
% ENTRADAS:
% datos: Excel con datos horarios de DNI Y GHI
% SALIDAS:
% datos_dia: Suma de los valores de DNI Y GHI horarios para cada día
% datos_mes: Suma de los valores de DNI y GHI horarios para cada mes
%-----
clc
clear
% DATOS DE ENTRADA EN EXCEL
RUTA='C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de Máster\Serie_validadas
_corregidas\';
file_name='PSA00-IRS-04(sin-2).xlsx';
% Este nombre de archivo variará dependiendo del emplazamiento a tratar
% -----
% Constantes utilizadas en el programa
col_G=5;
col_D=7;
primer_anno=1994;
num_annos=17;
num_prim_hoja_datos=6;
media_total_G=0;
media_total_D=0;
suma_total_G=0;
suma_total_D=0;
num_dias=[31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31];
lugar_hora=1;
lugar_dia=1;
lugar_mes=1;
% -----
% CÓDIGO

```

```

for i=1:num_annos
aaaa=(primer_anno-1)+i;
disp(aaaa);
hoja=(num_prim_hoja_datos-1)+i;
datos=xlsread(strcat(RUTA,file_name),hoja);
for m=1:12
for d=1:num_dias(m)
for h=0:23
datos_hora(lugar_hora,1)=aaaa;
datos_hora(lugar_hora,2)=m;
datos_hora(lugar_hora,3)=d;
datos_hora(lugar_hora,4)=h;

pos_selec=find((datos(:,2)==m)&(datos(:,3)==d)&(datos(:,4)==h));
if pos_selec
datos_hora(lugar_hora,5)=mean(datos(pos_selec,col_G));
datos_hora(lugar_hora,6)=mean(datos(pos_selec,col_D));
else
datos_hora(lugar_hora,5)=-999;
datos_hora(lugar_hora,6)=-999;
end
lugar_hora=lugar_hora+1;
clear pos_selec;
end
datos_dia(lugar_dia,1)=aaaa;
datos_dia(lugar_dia,2)=m;
datos_dia(lugar_dia,3)=d;
trozoG=datos_hora(lugar_hora-24:lugar_hora-1,5);
trozoD=datos_hora(lugar_hora-24:lugar_hora-1,6);
malosG=find(trozoG== -999);
malosD=find(trozoD== -999);
if malosG
datos_dia(lugar_dia,4)=-999;
else
datos_dia(lugar_dia,4)=sum(trozoG);
end
if malosD
datos_dia(lugar_dia,5)=-999;
else
datos_dia(lugar_dia,5)=sum(trozoD);
end
clear trozo malos;
lugar_dia=lugar_dia+1;
end
datos_mes(lugar_mes,1)=aaaa;
datos_mes(lugar_mes,2)=m;
trozo_mes_G=datos_dia(lugar_dia-num_dias(m):lugar_dia-1,4);
trozo_mes_D=datos_dia(lugar_dia-num_dias(m):lugar_dia-1,5);
malos_mes_G=find(trozo_mes_G== -999);
malos_mes_D=find(trozo_mes_D== -999);
if malos_mes_G
datos_mes(lugar_dia,3)=-999;
else
datos_mes(lugar_mes,3)=sum(trozo_mes_G);
end
if malos_mes_D
datos_mes(lugar_dia,4)=-999;
else
datos_mes(lugar_mes,4)=sum(trozo_mes_D);
end
end
end
end
end

```

```

        end
datos_mes(lugar_mes,5)=(datos_mes(lugar_mes,3)+datos_mes(lugar_mes,4))/2;
    clear trozo malos;
    lugar_mes=lugar_mes+1;
end
suma_total_G=datos_mes((1+12*(i-1):(12+12*(i-1))),3)+suma_total_G;
suma_total_D=datos_mes((1+12*(i-1):(12+12*(i-1))),4)+suma_total_D;
end
media_total_G=suma_total_G/num_años;
media_total_D=suma_total_D/num_años;
media_total_GD=(media_total_G+media_total_D)/2;

```

Programa 3: Calcula_FDA

```

% -----
% GUILLERMO IBÁÑEZ GALLARDO
% NIA: 100072569
% PROYECTO FINAL DE MÁSTER
% UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
% -----
% FUNCIÓN: PROGRAMA QUE CALCULA LOS FDA TANTO TOTALES COMO DE CADA UNO DE
% LOS AÑOS
% -----
% ENTRADAS:
% datos_dia: Variable con la suma de la radiación de cada uno de los días
% SALIDAS:
% Variables FDA tanto totales como de cada uno de los años y para ambas
% variables (DNI y GHI).
%-----
clc
clear FDA_num FDA_por
%Constantes utilizadas en el programa
num_int=10;
% -----
% CÓDIGO
for mes=1:12
    pos_mes=find(datos_dia(:,2)==mes);
    maximo_DNI(mes)=max(datos_dia(pos_mes,5));
    minimo_DNI(mes)=min(datos_dia(pos_mes,5));
    maximo_GHI(mes)=max(datos_dia(pos_mes,4));
    minimo_GHI(mes)=min(datos_dia(pos_mes,4));
    FDAT_num_GHI(mes,1)=0;
    FDAT_num_GHI(mes,2)=mes;
    FDAT_num_GHI(mes,3)=0;
    FDAT_por_GHI(mes,1)=0;
    FDAT_por_GHI(mes,2)=mes;
    FDAT_por_GHI(mes,3)=0;

    [FDAT_num_GHI(mes,4:13),FDAT_por_GHI(mes,4:13)]=FDA_general_2(datos_dia(pos
_mes,4),maximo_GHI(mes),minimo_GHI(mes),num_int);
    FDAT_num_DNI(mes,1)=0;
    FDAT_num_DNI(mes,2)=mes;
    FDAT_num_DNI(mes,3)=0;
    FDAT_por_DNI(mes,1)=0;
    FDAT_por_DNI(mes,2)=mes;
    FDAT_por_DNI(mes,3)=0;

```

```

[FDAT_num_DNI(mes,4:13),FDAT_por_DNI(mes,4:13)]=FDA_general_2(datos_dia(pos
_mes,5),maximo_DNI(mes),minimo_DNI(mes),num_int);
end
anno_ini=min(datos_dia(:,1));
anno_fin=max(datos_dia(:,1));
fila=0;
for aa=anno_ini:anno_fin
    for mes=1:12
        fila=fila+1;
        pos_mes=find( datos_dia(:,1)==aa & datos_dia(:,2)==mes);
        FDA_num_GHI(fila,1)=aa;
        FDA_num_GHI(fila,2)=mes;
        FDA_num_GHI(fila,3)=0;
        FDA_por_GHI(fila,1)=aa;
        FDA_por_GHI(fila,2)=mes;
        FDA_por_GHI(fila,3)=0;

[FDA_num_GHI(fila,4:13),FDA_por_GHI(fila,4:13)]=FDA_general_2(datos_dia(pos
_mes,4),maximo_GHI(mes),minimo_GHI(mes),num_int);
        FDA_num_DNI(fila,1)=aa;
        FDA_num_DNI(fila,2)=mes;
        FDA_num_DNI(fila,3)=0;
        FDA_por_DNI(fila,1)=aa;
        FDA_por_DNI(fila,2)=mes;
        FDA_por_DNI(fila,3)=0;

[FDA_num_DNI(fila,4:13),FDA_por_DNI(fila,4:13)]=FDA_general_2(datos_dia(pos
_mes,5),maximo_DNI(mes),minimo_DNI(mes),num_int);
        end
    end
end

```

Programa 4: FDA_general.m

```

% -----
% GUILLERMO IBÁÑEZ GALLARDO
% NIA: 100072569
% PROYECTO FINAL DE MÁSTER
% UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
% -----
% FUNCIÓN: Programa de apoyo para el cálculo de las FDA
% -----
% ENTRADAS:
% datos: Matriz con valores horarios de los años a estudiar de DNI Y GHI
% SALIDAS:
% num_dias: Número de días que están por debajo del valor de radiación de
% ese rango.
% porcentaje: Porcentaje de días que están por debajo del valor de
% radiación de ese rango.
%-----
% CÓDIGO
function [num_dias,porcentaje]=FDA_general(datos,max,min,num_int)
    delta=(max-min)/num_int;
    rangos_vector=[delta:delta:max];
for i=1:num_int
    valores=find(datos<=rangos_vector(i));
    num_dias(i,1)=length(valores);
    porcentaje=num_dias*100/length(datos);
end

```

```
end
end
```

Programa 5: Bias_calculo.m

```
% -----
% GUILLERMO IBÁÑEZ GALLARDO
% NIA: 100072569
% PROYECTO FINAL DE MÁSTER
% UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
% -----
% FUNCIÓN: PROGRAMA QUE CALCULA LOS ESTADÍSTICOS ELEGIDOS
% -----
% ENTRADAS:
% datos_med, datos_corr: Datos medidos y estimados después de haber sido
tratados
% SALIDAS:
% Los estadísticos BIAS, MAE y RMSE tanto para DNI como para GHI
%-----
% Ruta de los archivos estimados
ruta(1,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de Máster\Serie_validadas
_corregidas\';
ruta(2,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de Máster\Serie_validadas
_corregidas\';
ruta(3,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de Máster\Serie_validadas
_corregidas\';
ruta(4,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de Máster\Serie_validadas
_corregidas\';
% Ruta de los archivos medidos
ruta_Med(1,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de
Máster\Datos_finales\Datos_medidos_finales\';
ruta_Med(2,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de
Máster\Datos_finales\Datos_medidos_finales\';
ruta_Med(3,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de
Máster\Datos_finales\Datos_medidos_finales\';
ruta_Med(4,:) = 'C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de
Máster\Datos_finales\Datos_medidos_finales\';
% Nombre de los archivos estimados
n_file(1,:) = 'CENER-IRS';
n_file(2,:) = 'PLANTA-IRS';
n_file(3,:) = 'PSA00-IRS';
n_file(4,:) = 'SORIA-IRS';
% Nombre de los archivos medidos
n_file_Med(1,:) = 'CENER-CEN';
n_file_Med(2,:) = 'PLANTA-TOR';
n_file_Med(3,:) = 'PSA00-DLR';
n_file_Med(4,:) = 'SORIA-GRS';
% Constantes utilizadas en el programa
dias_mes=[31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31];
anno_ini=[2010 2011 2002 2005];
anno_fin=[2012 2012 2013 2013];
% -----
% CÓDIGO
for i=4:4
    filename_in=strcat(ruta_Med(i,:),n_file_Med(i),'-01.xlsx');
    filename_out=strcat(ruta(i,:),n_file(i),'-04.xlsx');
```

```

for anno=anno_ini(i):anno_fin(i) % va recorriendo años
    annostr=num2str(anno); % año en que estoy
    disp(anno)
    datos_med=xlsread(filename_in,annostr); %lee la hoja del año
correspondiente
    datos_corr=xlsread(filename_out,annostr); %lee la hoja del año
correspondiente de corregidos
    MSA(:,1)=datos_med(:,1);
    MSA(:,2)=datos_med(:,2);
    MSA(:,3)=datos_med(:,3);
    MSA(:,4)=datos_med(:,4);
    MSA(:,5)=abs(datos_med(:,5)-datos_corr(:,5));
    MSA(:,6)=abs(datos_med(:,7)-datos_corr(:,7));
    Bias(:,1)=datos_med(:,1);
    Bias(:,2)=datos_med(:,2);
    Bias(:,3)=datos_med(:,3);
    Bias(:,4)=datos_med(:,4);
    Bias(:,5)=datos_med(:,5)-datos_corr(:,5);
    Bias(:,6)=datos_med(:,7)-datos_corr(:,7);
    RDS(:,1)=datos_med(:,1);
    RDS(:,2)=datos_med(:,2);
    RDS(:,3)=datos_med(:,3);
    RDS(:,4)=datos_med(:,4);
    RDS(:,5)=(datos_med(:,5)-datos_corr(:,5)).^2;
    RDS(:,6)=(datos_med(:,7)-datos_corr(:,7)).^2;
for mes=1:12
    pos_BiasGHI=find(Bias(:,2)==mes & ~isnan(Bias(:,5)));
    pos_BiasDNI=find(Bias(:,2)==mes & ~isnan(Bias(:,6)));
    num_elGHI=numel(pos_BiasGHI);
    num_elDNI=numel(pos_BiasDNI);

    Bias_mes(mes,1)=mes;
    MSA_mes(mes,1)=mes;
    RDS_mes(mes,1)=mes;

    if num_elGHI==0
        Bias_mes(mes,2)=NaN;
        MSA_mes(mes,2)=NaN;
        RDS_mes(mes,2)=NaN;
    else
        Bias_mes(mes,2)=sum(Bias(pos_BiasGHI,5))/num_elGHI;
        MSA_mes(mes,2)=sum(MSA(pos_BiasGHI,5))/num_elGHI;
        RDS_mes(mes,2)=sqrt(sum(RDS(pos_BiasGHI,5))/num_elGHI);
    end

    if num_elDNI==0
        Bias_mes(mes,3)=NaN;
        MSA_mes(mes,3)=NaN;
        RDS_mes(mes,3)=NaN;
    else
        Bias_mes(mes,3)=sum(Bias(pos_BiasDNI,6))/num_elDNI;
        MSA_mes(mes,3)=sum(MSA(pos_BiasDNI,6))/num_elDNI;
        RDS_mes(mes,3)=sqrt(sum(RDS(pos_BiasDNI,6))/num_elDNI);
    end

end

end
BiasGHI_anno(1:12,(anno-1993))=Bias_mes(1:12,2);
BiasDNI_anno(1:12,(anno-1993))=Bias_mes(1:12,3);

```

```

MSAGHI_anno(1:12,(anno-1993))=MSA_mes(1:12,2);
MSADNI_anno(1:12,(anno-1993))=MSA_mes(1:12,3);
RDSGHI_anno(1:12,(anno-1993))=RDS_mes(1:12,2);
RDSDMI_anno(1:12,(anno-1993))=RDS_mes(1:12,3);
end
if i==1
    BiasGHI_CENER(1:12,1:(anno_fin
1993))=BiasGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-1993));
    BiasDNI_CENER(1:12,1:(anno_fin-
1993))=BiasDNI_anno(1:12,1:(anno_fin-1993));
    MSAGHI_CENER(1:12,1:(anno_fin-1993))=MSAGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    MSADNI_CENER(1:12,1:(anno_fin-1993))=MSADNI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    RDSGHI_CENER(1:12,1:(anno_fin-1993))=RDSGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    RDSDMI_CENER(1:12,1:(anno_fin-1993))=RDSDMI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
elseif i==2
    BiasGHI_PLANTA(1:12,1:(anno_fin-
1993))=BiasGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-1993));
    BiasDNI_PLANTA(1:12,1:(anno_fin-
1993))=BiasDNI_anno(1:12,1:(anno_fin-1993));
    MSAGHI_PLANTA(1:12,1:(anno_fin-1993))=MSAGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    MSADNI_PLANTA(1:12,1:(anno_fin-1993))=MSADNI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    RDSGHI_PLANTA(1:12,1:(anno_fin-1993))=RDSGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    RDSDMI_PLANTA(1:12,1:(anno_fin-1993))=RDSDMI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
elseif i==3
    BiasGHI_PSA00(1:12,1:(anno_fin-
1993))=BiasGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-1993));
    BiasDNI_PSA00(1:12,1:(anno_fin-
1993))=BiasDNI_anno(1:12,1:(anno_fin-1993));
    MSAGHI_PSA00(1:12,1:(anno_fin-1993))=MSAGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    MSADNI_PSA00(1:12,1:(anno_fin-1993))=MSADNI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    RDSGHI_PSA00(1:12,1:(anno_fin-1993))=RDSGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    RDSDMI_PSA00(1:12,1:(anno_fin-1993))=RDSDMI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
else
    BiasGHI_SORIA(1:12,1:(anno_fin-
1993))=BiasGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-1993));
    BiasDNI_SORIA(1:12,1:(anno_fin-
1993))=BiasDNI_anno(1:12,1:(anno_fin-1993));
    MSAGHI_SORIA(1:12,1:(anno_fin-1993))=MSAGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    MSADNI_SORIA(1:12,1:(anno_fin-1993))=MSADNI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    RDSGHI_SORIA(1:12,1:(anno_fin-1993))=RDSGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    RDSDMI_SORIA(1:12,1:(anno_fin-1993))=RDSDMI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    RDSGHI_SORIA(1:12,1:(anno_fin-1993))=RDSGHI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));

```

```

RSDNI_SORIA(1:12,1:(anno_fin-1993))=RSDNI_anno(1:12,1:(anno_fin-
1993));
    end
end

```

Programa 6: Eleccion_6sal.m

```

% -----
% GUILLERMO IBÁÑEZ GALLARDO
% NIA: 100072569
% PROYECTO FINAL DE MÁSTER
% UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
% -----
% FUNCIÓN: PROGRAMA QUE ELIGE LOS MESES SELECCIONADOS PARA NUESTRO AÑO
% SOLAR REPRESENTATIVO
% FUENTE: IRSOLAV
% CONSIDERACIONES DEL PROGRAMA:
% -TIPO DE DATOS: HORARIOS
% -UNA HOJA POR AÑO DE DATOS
% -CONSIDERA QUE PUEDAN ESTAR DESORDENADOS
% -CONSIDERA QUE PUEDA HABER HUECOS
% -CONSIDERA QUE HAYA VARIOS DATOS PARA UN INSTANTE
% -----
% ENTRADAS:
%  datos: Matriz con valores horarios de los años a estudiar de DNI Y GHI
%  max: Valor máximo de radiación que queremos que tengan nuestros rangos
%  num_int: Número de rangos de nuestra FDA
% PASOS INTERMEDIOS:
%  libro_por_GHI, DNI: Variable coloca las FDA de cada año y mes en una
matriz
%  de tres dimensiones, cada hoja de esta matriz será cada uno de los
años.
%  resta_GHI:Halla las desviaciones de cada una de las FDA de cada mes
%  con respecto a las FDA totales
%  resta_total: Hace la media de las desviaciones de cada mes de DNI y GHI
%  medias_G:Recoge las medias de los 5 años que tienen una desviación
%  menor en las FDA con respecto a la total para cada mes
%  resta_selección_G:Halla la diferencia entre la media de los dos años
%  seleccionados para cada mes y la compara con la media total para así
%  quedarse con el mes de media más cercana
%  desviaciones_G:Escribe la desviación entre FDA y FDA_T de los meses
elegidos
%  annos_G:Calcula los años correspondientes a los meses elegidos
% SALIDAS:
%  Matriz_final_G:Da los años correspondientes a cada mes elegido con sus
%  respectivas desviaciones de las FDA.
% -----
clear libro_por hoja resta suma_mes resultado
clc
format short
% -----
% Constantes utilizadas en el programa
i=1;
j=1;
ANNO_1=1993;
resta_seleccion=0;
num_preseleccionados=5;
% -----

```

```

% CÓDIGO
libro_por_GHI=reshape(FDA_por_GHI(:,4:13)',10,12,[]);
libro_por_DNI=reshape(FDA_por_DNI(:,4:13)',10,12,[]);
for i=1:num_annos
    hoja_GHI=libro_por_GHI(:,:,i)';
    hoja_DNI=libro_por_DNI(:,:,i)';
    resta_GHI(:,1:10,i)=abs(hoja_GHI-FDAT_por_GHI(:,4:13));
    resta_DNI(:,1:10,i)=abs(hoja_DNI-FDAT_por_DNI(:,4:13));
    resta_total=(resta_GHI+resta_DNI)/2;
    suma_mes_T_G(:,:,i)=sum(resta_GHI(:,:,i),2);
    suma_mes_T_D(:,:,i)=sum(resta_DNI(:,:,i),2);
    suma_mes_T_GD(:,:,i)=sum(resta_total(:,:,i),2);
    resultado_G(i,:)=suma_mes_T_G(:,:,i)';
    resultado_D(i,:)=suma_mes_T_D(:,:,i)';
    resultado_GD(i,:)=suma_mes_T_GD(:,:,i)';
end
for i=1:12
    [valor_G(:,i),pos_G(:,i)]=sort(resultado_G(:,i));
    [valor_D(:,i),pos_D(:,i)]=sort(resultado_D(:,i));
    [valor_GD(:,i),pos_GD(:,i)]=sort(resultado_GD(:,i));
    annos_G_corto(i,1)=(pos_G(1,i)+ANNO_1);
    annos_D_corto(i,1)=(pos_D(1,i)+ANNO_1);
    annos_GD_corto(i,1)=(pos_GD(1,i)+ANNO_1);
    desviaciones_G_corto(i,1)=valor_G(1,i);
    desviaciones_D_corto(i,1)=valor_D(1,i);
    desviaciones_GD_corto(i,1)=valor_GD(1,i);
    pos_medias_corto_G=find((datos_mes(:,1)==annos_G_corto(i))
(datos_mes(:,2)==i));
    pos_medias_corto_D=find((datos_mes(:,1)==annos_D_corto(i))
(datos_mes(:,2)==i));
    pos_medias_corto_GD=find((datos_mes(:,1)==annos_GD_corto(i))
(datos_mes(:,2)==i));
    medias_G_cortoG(i,1)=datos_mes(pos_medias_corto_G,3);
    medias_G_cortoD(i,1)=datos_mes(pos_medias_corto_G,4);
    medias_D_cortoD(i,1)=datos_mes(pos_medias_corto_D,4);
    medias_D_cortoG(i,1)=datos_mes(pos_medias_corto_D,3);
    medias_GD_cortoG(i,1)=datos_mes(pos_medias_corto_GD,3);
    medias_GD_cortoD(i,1)=datos_mes(pos_medias_corto_GD,4);
end
matriz_final_G_corto=[annos_G_corto(:,1),desviaciones_G_corto,medias_G_cort
oG,medias_G_cortoD];
matriz_final_D_corto=[annos_D_corto(:,1),desviaciones_D_corto,medias_D_cort
oG,medias_D_cortoD];
matriz_final_GD_corto=[annos_GD_corto(:,1),desviaciones_GD_corto,medias_GD_
cortoG,medias_GD_cortoD];
for i=1:num_preseleccionados
    for j=1:12
        [aG,bG]=find(datos_mes(:,1)==(pos_G(i,j)+ANNO_1)
datos_mes(:,2)==j);
        [aD,bD]=find(datos_mes(:,1)==(pos_D(i,j)+ANNO_1)
datos_mes(:,2)==j);
        [a,b]=find(datos_mes(:,1)==(pos_GD(i,j)+ANNO_1)
datos_mes(:,2)==j);
        medias_G(i,j)=datos_mes(aG,3);
        medias_D(i,j)=datos_mes(aD,4);
        medias_GD(i,j)=datos_mes(a,5);
    end
    resta_seleccion_G(i,1:12)=medias_G(i,1:12)-media_total_G(1:12,1)';
    resta_seleccion_D(i,1:12)=medias_D(i,1:12)-media_total_D(1:12,1)';

```

```

resta_seleccion_GD(i,1:12)=medias_GD(i,1:12)-media_total_GD(1:12,1)';
end
for mes=1:12
    [a_corto,b_corto]=find(datos_mes(:,1)==(pos_GD(1,m)+ANNO_1)           &
datos_mes(:,2)==m);
    minimo_resta_selec_G=min(abs(resta_seleccion_G(:,mes)));
    minimo_resta_selec_D=min(abs(resta_seleccion_D(:,mes)));
    minimo_resta_selec_GD=min(abs(resta_seleccion_GD(:,mes)));
    c_G=find(abs(resta_seleccion_G(:,mes))==minimo_resta_selec_G);
    c_D=find(abs(resta_seleccion_D(:,mes))==minimo_resta_selec_D);
    c_GD=find(abs(resta_seleccion_GD(:,mes))==minimo_resta_selec_GD);
    anno_selec_G=pos_G(c_G(1),mes)+ANNO_1;
    anno_selec_D=pos_D(c_D(1),mes)+ANNO_1;
    anno_selec_GD=pos_GD(c_GD(1),mes)+ANNO_1;
    desviaciones_G(mes,1)=suma_mes_T_G(mes,1,pos_G(c_G(1),mes));
    desviaciones_D(mes,1)=suma_mes_T_D(mes,1,pos_D(c_D(1),mes));
    desviaciones_GD(mes,1)=suma_mes_T_GD(mes,1,pos_GD(c_GD(1),mes));
    annos_G(mes,1)=anno_selec_G;
    annos_D(mes,1)=anno_selec_D;
    annos_GD(mes,1)=anno_selec_GD;
    pos_medias_G=find((datos_mes(:,1)==annos_G(mes))           &
(datos_mes(:,2)==mes));
    pos_medias_D=find((datos_mes(:,1)==annos_D(mes))           &
(datos_mes(:,2)==mes));
    pos_medias_GD=find((datos_mes(:,1)==annos_GD(mes))         &
(datos_mes(:,2)==mes));
    medias_G_largoG(mes,1)=datos_mes(pos_medias_G,3);
    medias_G_largoD(mes,1)=datos_mes(pos_medias_G,4);
    medias_D_largoG(mes,1)=datos_mes(pos_medias_D,3);
    medias_D_largoD(mes,1)=datos_mes(pos_medias_D,4);
    medias_GD_largoG(mes,1)=datos_mes(pos_medias_GD,3);
    medias_GD_largoD(mes,1)=datos_mes(pos_medias_GD,4);
end
matriz_final_G=[annos_G(:,1),desviaciones_G,medias_G_largoG,medias_G_largoD
];
matriz_final_D=[annos_D(:,1),desviaciones_D,medias_D_largoG,medias_D_largoD
];
matriz_final_GD=[annos_GD(:,1),desviaciones_GD,medias_GD_largoG,medias_GD_l
argoD];

```

Programa 7: Crear_ASR

```

% -----
% GUILLERMO IBÁÑEZ GALLARDO
% NIA: 100072569
% PROYECTO FINAL DE MÁSTER
% UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
% -----
% FUNCIÓN: Programa que genera los ASR de datos horarios a partir del ASR
% generado anteriormente
% FUENTE: IRSOLAV
% -----
% ENTRADAS:
% datos: Archivo con los datos horarios del emplazamiento elegido en el
% caso
% anno: Años de los que se coge cada uno de los meses del ASR
% SALIDAS:
% Serie_ASR: Año ASR con los datos horarios

```

```

%-----
% Ruta de los datos horarios
RUTA='C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de Máster\Serie_validadas
_corregidas\';
% Nombre del archivo con los datos horarios
file_name='SORIA-IRS-04.xlsx';
% Ruta donde se guardará en archivo
RUTAW='C:\Users\guille\Desktop\Proyecto fin de Máster\Serie_ASR\';
% Nombre que tendrá el archivo del ASR horario
file_nameW='CEDER-ASR.xlsx';
% Constantes utilizadas en el programa
primer_anno=1994;
num_anos=20;
hoja_W=3;
num_prim_hoja_datos=6;
anno=[1994 2002 1996 1994 2000 1999 1995 2011 2010 1997 2010 1994];
num_dias=[31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31];
posicion=1;
% -----
% CÓDIGO
for i=1:12
    disp(anno(i));
    datos=xlsread(strcat(RUTA,file_name),anno(i)-1994+6);
    pos_ASR=find((datos(:,1)==anno(i) & datos(:,2)==i));
    a=posicion;
    b=posicion+(num_dias(i)*24)-1;
    ASR(a:b,4)=datos(pos_ASR,5);
    ASR(a:b,5)=datos(pos_ASR,7);
    posicion=posicion+num_dias(i)*24;
end
ASR(:,1)=datos(:,2);
ASR(:,2)=datos(:,3);
ASR(:,3)=datos(:,4);
Serie_ASR=xlswrite(strcat(RUTAW,file_nameW),ASR,hoja_W);

```