



## **TRABAJO FIN DE MASTER**

# *PREDICCIÓN DE RADIACION SOLAR A CORTO Y MEDIO PLAZO*

Departamento de Ingeniería Eléctrica y  
Electrónica

Alumno: Iosu Zamarbide Ducun

Tutores: Dr. Javier Marcos Álvarez

Dr. Miguel García Solano

Dr. Íñigo de la Parra Laita

Pamplona, 20 Junio de 2014



## **RESUMEN**

La demanda global para una mayor integración de las energías renovables en el sistema eléctrico tanto a nivel local como mundial remarca la importancia de las cuestiones económicas y tecnológicas asociadas a los niveles crecientes de potencia fotovoltaica (PV) y de potencia solar concentrada (CSP) para conseguir hacer viable su conexión a red. Estas preocupaciones surgen de la naturaleza variable del recurso solar, desviaciones estacionales en la producción, el alto coste del almacenamiento de energía, y el equilibrio entre la flexibilidad y la fiabilidad de la red. Como resultado, las plantas solares son a menudo respaldadas por los generadores auxiliares durante periodos de alta variabilidad, lo que aumenta los costes capitales y operativos en la generación de energía eléctrica a partir de energía solar. Una previsión anticipada y precisa del recurso solar sobre varios horizontes temporales es necesaria para que los operadores de redes independientes (ISOs) u otras autoridades equivalentes las cuales están encargadas de dar equilibrio a la red puedan integrar con éxito el aumento de los niveles de producción de energía solar consiguiendo dar fiabilidad y un seguimiento a la carga de producción programando la potencia a inyectar.

Es por todo lo comentado en el párrafo anterior que en este trabajo final de máster se ha realizado un análisis de la situación de datos aportados por dos empresas encargadas de la predicción de radiación solar para la planta termosolar situada en Palma del Río. A lo largo del mismo, se ha llevado a cabo en primer lugar una pequeña introducción de cómo se encuentra hoy en día el incipiente y novedoso campo de la predicción solar y en segundo lugar, un análisis de la situación de los datos de predicción solar aportados por las dos empresas colaboradoras, desechando los datos de una de ellas por su mal estado y realizando un análisis profundo sobre la estado de los aportados por la otra empresa en primer lugar y en segundo lugar como de buenas y útiles pueden llegar a ser dichas predicciones, obteniendo por desgracia conclusiones no muy favorables.

## **INDICE**

1-	ANTECEDENTES: ESTADO DEL ARTE DE LA PREDICCIÓN SOLAR.....	6
1.1	INTRODUCCIÓN .....	6
1.2	EL RECURSO SOLAR .....	7
1.3	PREDICCIÓN DE RADIACIÓN SOLAR .....	8
1.3.1	¿QUÉ ES LA PREDICCIÓN SOLAR?.....	8
1.3.2	HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA PREDICCIÓN SOLAR.....	9
1.3.3	TÉCNICAS DE PREDICCIÓN DE RADIACIÓN SOLAR .....	13
	Nowcasting.....	13
	Forecasting .....	13
1.4	MODELOS DE PREDICCIÓN POR PARTE DE LAS DIFERENTES EMPRESAS COLABORADORAS .....	14
1.4.1	Sun to Market Solutions (S2m) .....	14
1.4.2	Meteorológica .....	15
2-	MATERIAL, MÉTODOS: ANALISIS DE DATOS DE PREDICCIÓN SOLAR PARA PALMA DEL RIO II .....	16
2.1	INTRODUCCIÓN.....	16
2.2	SITUACIÓN DE LOS DATOS DISPONIBLES.....	17
2.2.1	HERRAMIENTAS .....	18
2.2.2	ANÁLISIS DE LOS DATOS BRUTOS .....	19
2.2.2.1	DATOS MEDIDOS .....	19
2.2.2.2	DATOS PREDICHOS .....	27
3-	OBJETIVOS, RESULTADOS Y DISCUSIONES: ESTUDIO Y COMPARATIVA DE LOS DATOS DE PREDICCIÓN DE RADIACIÓN SOLAR .....	37
3.1	PRIMEROS OBJETIVOS.....	37
3.2	PRIMEROS PASOS.....	37

3.3 CORRECCIONES HORARIAS .....	42
3.4 REPRESENTACIÓN MENSUAL.....	45
3.4.1 Conclusiones de las representaciones mensuales .....	70
3.5 ANÁLISIS FINALES .....	75
3.5.1 Análisis de los días anómalos .....	80
3.5.2 Análisis de los percentiles.....	95
4- CONCLUSIONES .....	98
Propuestas futuras.....	98
5- BIBLIOGRAFIA .....	100

# **1- ANTECEDENTES: ESTADO DEL ARTE DE LA PREDICCIÓN SOLAR**

## **1.1 INTRODUCCIÓN**

Con la finalidad de buscar dar un equilibrio a la red eléctrica y con ello conseguir una mayor integración de energía solar, aparecen distintos tipos de predicciones solares con distintos horizontes. A corto plazo, las previsiones intra-horarias son particularmente útiles para llevar a cabo operaciones en la planta solar, dar equilibrio a la red, conseguir un control automático de generación y del comercio. Las previsiones para horizontes temporales de más largo plazo son de interés para los servicios públicos y estratégicos para la unidad de compromiso, la programación y para mejorar el control en dicha área. En última instancia, se requiere un espectro de pronósticos solares para hacer frente a la planificación, las necesidades operativas y el equilibrio tanto para la distribución como para las redes de transmisión.

Por lo tanto, podría decirse que la predicción solar es una tecnología que permite la integración de cada vez más energía solar a la red, ya que mejora la calidad de energía suministrada a la red y reduce los costes de accesorios asociados con la dependencia del recurso solar. La combinación de estos dos factores, ha sido la principal motivación para el desarrollo de un complejo campo de investigación que tiene como objetivo producir mejores predicciones de irradiancia a nivel de suelo y con ello poder predecir la potencia de salida producible dependiendo del tipo de tecnología utilizada.

Hasta la fecha se han utilizado métodos robustos en la predicción solar que trabajan de forma eficaz solo en determinadas situaciones. El problema con el que se encuentra normalmente esta tecnología tan reciente reside en el efecto no lineal y caótico de movimiento de las nubes. Sin embargo, una serie de enfoques prometedores se han llevado a cabo en los últimos años, con lo que el campo de la investigación incipiente de la meteorología solar para la generación de predicciones ha crecido considerablemente mediante el uso de diversas áreas del conocimiento como la física atmosférica, la instrumentación solar, el aprendizaje automático, la previsión y la teoría de teledetección en su búsqueda por mejores capacidades de predicción.[1]

## 1.2 EL RECURSO SOLAR

El recurso solar está actualmente considerado como el mayor recurso energético disponible en nuestro planeta. "En el plazo de seis horas los desiertos reciben más energía del sol que la humanidad consume en un año", Dr. Gerhard Knies, fundador de TREC ("Trans-Mediterranean Renewable Energy Cooperation").

Con el sol como fuente energética la Tierra recibe 174 peta Watios de radiación en la parte más externa de la atmósfera. Aproximadamente el 30% es reflejada y devuelta de nuevo al espacio mientras que el resto es absorbida por las nubes, los océanos y la masa terrestre. Para toda esta radiación que no es reflejada y que consigue llegar a la superficie terrestre existen diferentes formas de cuantificarla, a lo largo de este documento nos focalizaremos en la radiación global horizontal (GHI) y en la radiación directa normal (DNI) que son las dos más utilizadas en plantas solares y por ello las necesarias de predecir.

La radiación o irradiancia global horizontal (GHI), es la radiación recibida en un plano horizontal a nivel de suelo, medida en vatios por metro cuadrado,. Esta radiación será útil en este documento puesto que es usada para poder estimar en las instalaciones fotovoltaicas la potencia eléctrica equivalente producible por dicha instalación. Dentro de esta están comprendidas la radiación directa normal captada por el plano horizontal (dependerá de la posición del sol en dicho instante) y la radiación difusa horizontal (DHI).

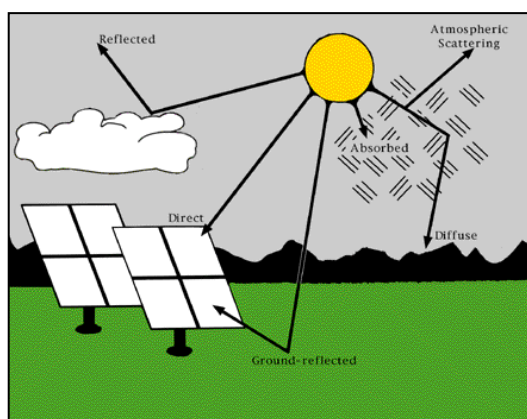


Ilustración 1. Comportamiento de la radiación al pasar la atmósfera.

La radiación normal directa (DNI), es la radiación por unidad de área recibida por una superficie la cual está siempre perpendicular a la dirección (o en la normal) de los rayos del sol, lo que implica el estar en continuo seguimiento a la posición del sol en todo momento. Esta radiación es utilizada, al igual que la GHI se utiliza en fotovoltaica, en plantas termosolares para calcular la potencia producible. En las plantas termosolares, los heliostatos se orientan para poder captar los rayos perpendiculares del sol y dirigirlos a la torre donde se encuentra la turbina encargada de generar energía eléctrica.

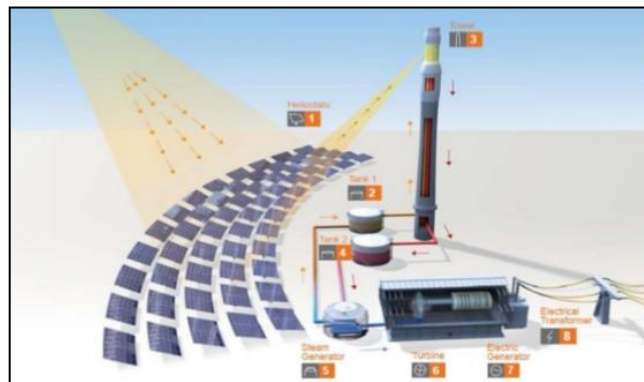


Ilustración 2. Torresol Energy.[7]

## 1.3 PREDICCIÓN DE RADIACIÓN SOLAR

### 1.3.1 ¿QUÉ ES LA PREDICCIÓN SOLAR?

La predicción solar consiste en anticipar una radiación a futuro con distintos horizontes temporales y en un espacio geográfico delimitado. Dependiendo del horizonte temporal utilizado las técnicas adquieren distintos nombres y utilizan distintas tecnologías. Se trata de una ciencia en actual desarrollo, no son muchos los detalles que se conocen y dependiendo del autor se pueden encontrar distintos espacios temporales y distintas técnicas utilizadas las cuales en la mayoría de los casos se encuentran en investigación. En este caso se han considerado oportunas las siguientes diferenciaciones. La técnica del “Nowcasting”, que predice a más corto plazo, da predicciones con horizontes de entre 0 y 3 horas. El “short-term forecasting” predice con una visión de entre 3 y 6 horas. Con predicciones temporales de pocas horas hasta semanas se denomina Forecasting o “medium-term forecasting” y por último estarían las predicciones climáticas que son aquellas que predicen para futuras



estaciones o años las cuales se basan en niveles de  $\text{CO}_2$  ,  $\text{O}_3$  y en registros anteriores de bases de datos.[6]

Dependiendo de la técnica utilizada, es decir, del horizonte de predicción y de la superficie que esta abarca, se utilizan distintos equipos y modelos como por ejemplo las cámaras de cielos claros, celiómetros, radiómetros, imágenes de satélites, métodos numéricos, etc. Muchos expertos aseguran que para conseguir una predicción más precisa es necesaria la combinación de todas estas técnicas, pero desgraciadamente aún no se ha conseguido desarrollar el sistema perfecto que consiga dar resultados 100% certeros. La siguiente gráfica facilitada por “Ciemat” muestra cuales son las técnicas utilizadas en función del horizonte temporal y de la resolución espacial utilizada.

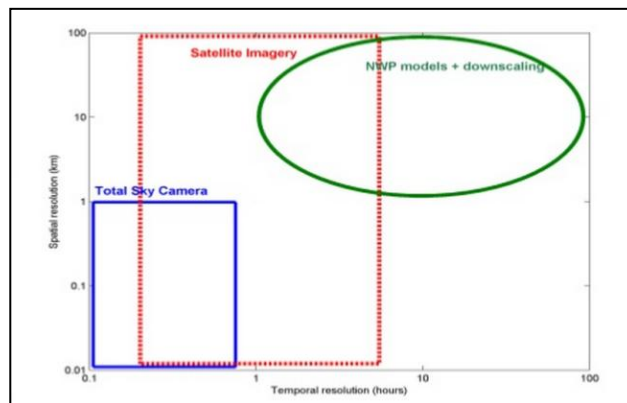


Ilustración 3. Clasificación de distintos métodos de predicción, [Ciemat]

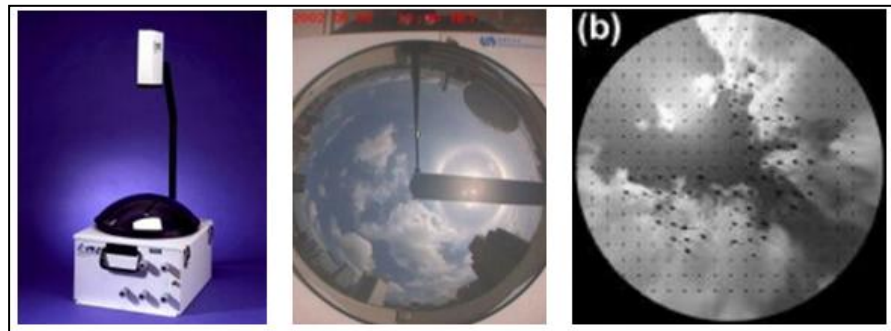
### 1.3.2 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA PREDICCIÓN SOLAR

Dentro de las herramientas utilizadas en la predicción solar se podrían dividir en aquellas utilizadas para medir datos en tiempo real y aquellas basadas en modelos o métodos en las cuales son introducidos los datos medidos para obtener estimaciones. Dentro del primer grupo, también denominado de “observación terrestre” se encuentran las siguientes herramientas:

- Cámaras de cielo:

Se utilizan para localizar, determinar la altura y parametrizar el tipo de nubes y posteriormente aplicando una serie de algoritmos poder determinar cuál será la futura posición de las nubes. La resolución espacial que dan es muy alta, utilizándose casi siempre en plantas solares y pudiendo realizarse predicciones en el plazo de

minutos. El uso de esta herramienta para el muy corto plazo (Nowcasting) está en actual investigación y en proceso de optimización por el hecho de determinar cuál es el número de cámaras de cielo optimo a utilizar y de qué manera procesar la información que estas reciben dependiendo de la superficie en la que se va a predecir, hoy en día se están utilizando entre 2 y 3 por planta aunque nadie asegura que está sea la manera más fiable.



**Ilustración 4. Cámaras de cielo.[Ciemat]**

- Estaciones meteorológicas:

Las estaciones meteorológicas determinan los valores instantáneos de velocidad de viento, dirección del mismo y valores de radiación la cual puede ser medida en forma de radiación global horizontal (GHI) mediante piranómetros, en forma de radiación difusa horizontal (DHI) utilizando piranómetros con anillo y en forma de radiación directa normal (DNI) con pirheliómetros.



**Ilustración 5. Pirheliómetro[8]**



**Ilustración 6. Piranómetro con anillo [8]**



**Ilustración 7. Piranómetro[8]**

- Celiómetros:

Aunque no son siempre utilizados por la mayoría de empresas dedicadas a la predicción solar, los celiómetros que podrían ir incluidos también en el grupo de las estaciones meteorológicas son utilizados para determinar la altura de las nubes cosa que sobre todo es necesaria para días claros en los cuales aparecen nubes altas y muy finas que pasan desapercibidas por las cámaras de cielo.



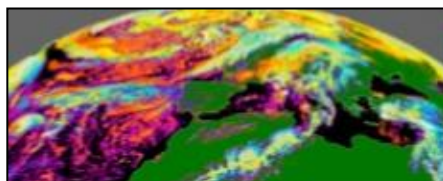
**Ilustración 8. Celiómetro CHM 15k.[7]**

- Radiómetros:

Los radiómetros son utilizados por algunas empresas para determinar la concentración de aerosoles en la atmósfera, este factor se convierte en vital para días claros en los cuales lo que más afecta a la radiación recibida por la superficie terrestre es la cantidad de aerosoles que la atmósfera contiene. Conociendo este dato con precisión y aplicando un modelo de cielos claros se puede reducir la incertidumbre en la predicción de radiación solar de forma considerable.

- Imágenes de Satélite:

Las imágenes de satélites se utilizan para determinar el tipo, la forma y la dirección que llevan las nubes, y a partir de ello determinar una cobertura nubosa. Con el uso de satélites también se es capaz de determinar la cantidad de aerosoles contenida en la atmósfera.



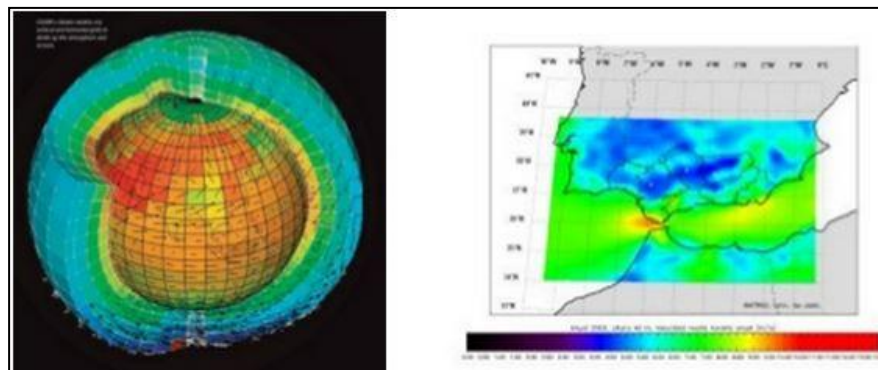
**Ilustración 9. Imagen de satélite proporcionada por Ciemat.**

El segundo grupo de herramientas lo constituyen todos aquellos métodos y modelos los cuales apoyándose en las variables medidas sacan un resultado, a continuación se explican estas herramientas:

- Métodos Numéricos (“Numerical Weather Prediction Models”)

Estos métodos matemáticos funcionan de tal forma que en ellos se introducen las variables medidas mediante las herramientas de observación terrestre (velocidad de viento, dirección de viento, temperatura, radiación, presión, etc.) y la cobertura nubosa la cual se determina aplicando diferentes algoritmos al movimiento y dirección de las nubes, medido este mediante imágenes de satélites o con cámaras de cielo.

A través de los métodos numéricos se obtienen aproximaciones de predicciones de temperatura, presión, radiación global horizontal... que todavía no serían los valores finales.



**Ilustración 10. Modelo de métodos numéricos (Universidad de Jaén)**

- Métodos Meteorológicos Regionales (“Regional Weather Methods”)

Debido a que cada lugar tiene unas características meteorológicas determinadas, mayor cantidad de polvo, niebla por las mañanas, etc. Se crean modelos de cielos claros para lugares específicos en los cuales a partir de estas características, se introducen las aproximaciones de predicción obtenidas en los métodos numéricos y se obtienen las predicciones de radiación definitivas. [6], [2]

### 1.3.3 TÉCNICAS DE PREDICCIÓN DE RADIACIÓN SOLAR

#### Nowcasting

La tecnología más novedosa y por lo tanto la más complicada de llevar a cabo es el Nowcasting. Esta consiste en hacer predicciones de radiación a muy corto plazo con un horizonte de unas 3 o 4 horas. Cada 15 minutos (dependiendo del usuario) se dan predicciones quince-minútales a lo largo del horizonte anteriormente mencionado. La resolución con la que se hacen las predicciones es muy alta, pudiendo llegar a los pocos kilómetros cuadrados (plantas fotovoltaicas o de concentración solar). La obtención de ya sean valores de radiación horizontal o directa a tan pequeño plazo reside en la importancia de detectar el tipo de nubes y el movimiento que estas realizarán en caso de días con cielos cubiertos. Para ello lo más novedoso y tendencioso por donde todas las empresas están investigando es en la colocación de varias cámaras de cielo y con ello poder detectar las posiciones de las nubes con algoritmos de posición en un tiempo muy próximo.

Si se trata de días claros, esta predicción será mucho más sencilla de realizar, encontrando como mayor inconveniente la concentración de aerosoles en la atmósfera donde algunas empresas están introduciendo los celiómetros como forma de detección de los mismos en lugar de imágenes de satélites. La mayoría de empresas aseguran que una combinación del conjunto de herramientas de predicción solar es clave para conseguir predicciones de manera más optimizada. El hándicap reside en cómo combinarlas y en encontrar una armonía entre ellas.

#### Forecasting

Dentro de la tecnología de predicción solar del Forecasting, tecnología más madura y desarrollada que el Nowcasting, existen distintos niveles dependiendo del horizonte de predicción, que en función de cada empresa son asignados de diferente manera. El “Forecasting” que va a ser más interesante a la hora de elaborar este documento, es el cual abarca horizontes desde unas pocas horas hasta unas 24 horas y que realiza predicciones horarias cada día. En estos casos la resolución con la que se realizan las predicciones se sitúa en torno a los 15 kilómetros cuadrados y en ellas las principales herramientas de predicción que intervienen son las imágenes de satélites junto con los métodos numéricos de predicción

(NWP), donde se podría decir que las imágenes de satélite se utilizan en un horizonte de hasta 6 horas y los NWP en un horizonte mayor. [6], [2], [7]

## **1.4 MODELOS DE PREDICCIÓN POR PARTE DE LAS DIFERENTES EMPRESAS COLABORADORAS**

### **1.4.1 Sun to Market Solutions (S2m)**

El modo de trabajo de S2m para la predicción a muy corto plazo (Nowcasting), consiste en combinar diferentes herramientas como son imágenes de satélites, cámaras de cielo y la toma de datos en estaciones meteorológicas con las que se obtienen datos actuales medidos. Con los datos medidos en la superficie terrestre (temperatura, radiación, presión, velocidad de viento, etc.) y junto con imágenes de satélites y cámaras de cielo con las cuales se determina la cobertura nubosa del cielo se introducen en un servidor y a partir de métodos numéricos, como podría ser el WRF (“Weather Research and Forecasting”) se obtiene una primera aproximación de las variables a predecir (temperatura, radiación global horizontal, radiación directa, etc). Una vez obtenida esta primera aproximación, utilizando un modelo de cielos claros, en el caso de S2m utilizan el MRM (“Meteorological radiation model”), se determina la predicción de radiación ya sea Global horizontal, directa o difusa. Se podría decir que ya se tiene la predicción de radiación solar deseada, pero muchas veces se da el caso en el que dependiendo del lugar se tienen distintos factores que juegan una parte crucial para la estimación de radiación como podrían ser nieblas finas, polvo, etc. Para ello se utilizan redes neuronales inteligentes a las cuales se les introduce los datos de entrada y los de salida del modelo de cielos claros además de los parámetros característicos de la localización y se obtiene los resultados finales de radiación. El siguiente esquema representa de manera simplificada de cómo sería la forma de actuar de esta empresa. [3], [4], [5]

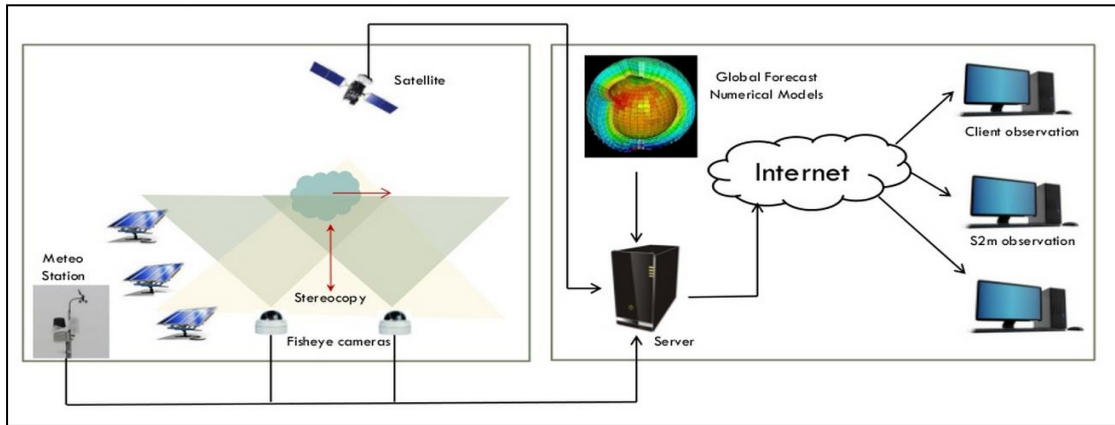


Ilustración 11. Esquema de predicción de S2M.

### 1.4.2 Meteorológica

A cerca de la empresa Meteorologica no se han conseguido encontrar ningún tipo de información la cual clarifique cuales son las técnicas y herramientas utilizadas. Sin embargo debido al tipo de predicciones que se hacen se podría decir que la técnica que utiliza es el “Forecasting” y las herramientas que utilice probablemente sean imágenes de satélite junto a métodos numéricos pero no se sabe si utiliza algún tipo de red neuronal (por los resultados obtenidos se podría decir que no es así).

## **2- MATERIAL, MÉTODOS: ANALISIS DE DATOS DE PREDICCIÓN SOLAR PARA PALMA DEL RÍO II**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En esta parte del trabajo se expone un caso real. Una planta termosolar, Palma del Río II, situada en Córdoba y la cual pertenece a “Acciona Solar” en la que se ha decidido llevar a cabo una inversión en lo que a datos de predicción de radiación solar se refiere, involucrando a dos empresas que dan este servicio, “Meteológica” y “Sun to Market” (S2M) anteriormente ya mencionadas. Lo que se pretende es determinar la validez de estos datos de predicción, es decir, comparar los datos predichos con los datos reales medidos in-situ e intentar determinar si estas predicciones son lo suficientemente buenas y pueden llegar a ser útiles en determinadas aplicaciones futuras.



**Ilustración 12. Palma del Río II “Acciona Solar”**

Para que el seguimiento de este documento resulte más cómodo, se ha considerado crucial realizar una introducción de la situación de los datos puesto que son diversas las fuentes y los formatos de los datos. Tres son las empresas colaboradoras en la aportación de datos:

- Acciona Energía:

Esta empresa, propietaria de la planta termosolar y principal interesada en la evaluación de los datos, es la proveedora de datos de radiación solar, viento, temperatura... todos ellos medidos in-situ. Estos datos provienen de la estación



meteorológica situada en la planta Palma del Rio II. Se dispone de un año entero de datos minútales de irradiancia directa, global horizontal y difusa además de temperatura ambiente y velocidad de viento que van desde el 1 de Octubre de 2012 hasta el 30 de Septiembre de 2013.

- **Meteorológica:**

Esta empresa, por otro lado es una de las encargadas de proveer datos de predicción de radiación solar. Los datos de los que se dispone son los siguientes:

- Irradiancia global horizontal (GHI): Se dispone de predicciones horarias realizadas al comienzo de cada día, es decir, con un horizonte de 24 horas desde el 1 de Enero de 2012 hasta el 30 de Septiembre de 2013. Además, estas predicciones se tienen con percentil 10, percentil 50 y percentil 90 (se explicaran con más detalle en apartados posteriores).
- Irradiancia directa normal (DNI): Estos datos se encuentran en el mismo formato que la radiación global horizontal pero tan solo se tienen datos del 1 de Junio de 2013 al 30 de Septiembre de 2013.

- **Sun to Market Solutions (S2m):**

Esta empresa es también encargada de facilitar datos de predicción de radiación solar. Sin embargo el formato y la manera de predecir los datos es distinta a la de “Meteorologica”, en este caso S2m realiza predicciones cada 15 minutos con un horizonte de 135 minutos y únicamente de radiación directa normal (como ya se vio anteriormente se utiliza la técnica del “Nowcasting”). Los datos de los que se disponen únicamente corresponden a 3 meses, van desde el 1 de Junio hasta el 10 de Octubre de 2013. Pero por desgracia y como se explicará en el siguiente apartado estos datos no han sido utilizados debido a la mala situación de los mismos.

## **2.2 SITUACIÓN DE LOS DATOS DISPONIBLES**

Este apartado lo que pretende es explicar cuál es el estado de los datos aportados por las diferentes empresas colaboradoras de manera mucho más detallada además de explicar cómo fueron abordados y de las diferentes decisiones que se tuvieron que tomar ante los imprevistos con los que se dieron.

### 2.2.1 HERRAMIENTAS

Uno de los principales problemas con los que se encuentra este estudio es con la gran cantidad de datos con los que se tiene que trabajar por lo que en primer lugar hay que definir una estrategia de cómo atacar dichos datos y más importante aún definir una herramienta que pueda trabajar de forma factible y flexible.

Aunque todos los datos se encuentran almacenados en ficheros Excel, con diferentes hojas o incluso libros divididos por meses, quincenas, dependiendo de la fuente y de los datos, puede parecer razonable el uso de esta herramienta ofimática (Excel) para llevar a cabo todos los análisis. Debido a la cantidad de datos con los que se pretende operar (más de un año de datos minútales), harían este proceso muy lento y pesado además de obtener una pésima resolución en las simulaciones puesto que las gráficas y representaciones lineales (muy útiles para este tipo de análisis) no están capacitadas para trabajar con tantos datos. Por esta razón, lo que se propone es utilizar una herramienta mucho más potente, ligera y cómoda como es “Matlab”.

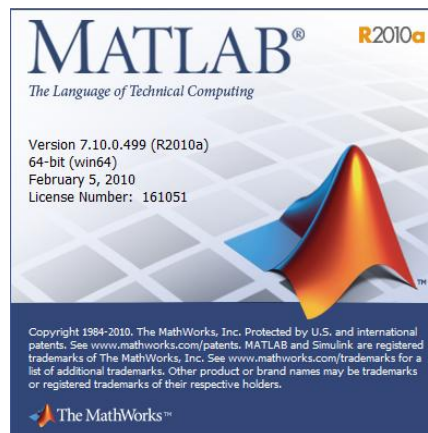


Ilustración 13. Icono de Matlab R2010a

En líneas generales, lo que se pretende con el uso de “Matlab” es simplificar y mecanizar todas las simulaciones, de tal manera que se parta siempre de unas listas base de datos brutos y mediante código se hagan los cálculos necesarios. De esta manera se consigue realizar un trabajo mucho más ligero que si se trabajase únicamente con hojas Excel, las cuáles se llenarían de fórmulas ilegibles y datos que las harían muy pesadas y difícil de trabajarlas.

Aunque este apartado se incluya dentro del apartado “situación de los datos disponibles”, la herramienta “Matlab” no sólo va a ser utilizada para analizar la situación de los datos sino también a lo largo de todo el trabajo.

### **2.2.2 ANÁLISIS DE LOS DATOS BRUTOS**

Una vez fijada la herramienta a utilizar, lo primero que se va a realizar es un análisis y un filtrado de todos los datos tanto de los medidos como de los predichos y ver si se dispone de datos suficientes para poder realizar un buen estudio (se estima que con un año completo de datos sería suficiente).

Por ello lo primero que se plantea para poder ver la situación de los mismos es una representación global de todos los datos por separado a lo largo de cada uno de sus periodos y de esta manera poder apreciar irregularidades en las supuestas formas que estos deberían tener, la posibilidad de encontrarnos también con valores nulos y demás casos anómalos que en caso de encontrarlos, tal y como se comentó anteriormente se tendrán que tomar decisiones ante ellos.

#### **2.2.2.1 DATOS MEDIDOS**

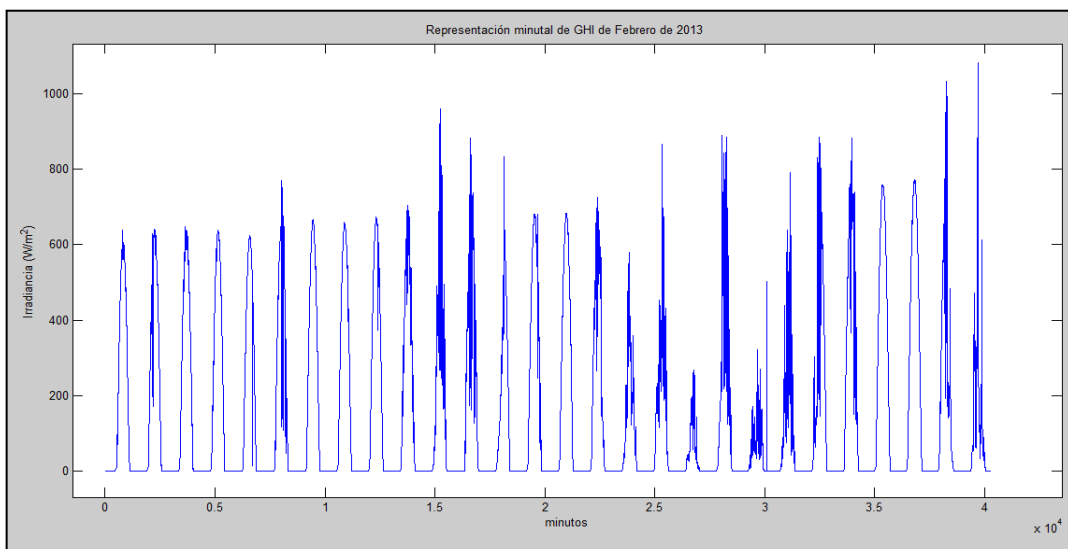
Comenzando por los datos medidos proporcionados por la estación meteorológica situada en Palma del Río II, estos se tratan de datos minútales que van desde el 1 de Octubre de 2012 hasta el 30 de Septiembre de 2013, es decir, un año natural completo, correspondientes a las variables de radiación global horizontal (GHI), radiación directa normal (DNI), radiación difusa horizontal (DHI), viento y temperatura ambiente. En este trabajo, serán los valores de radiación solar los que más nos interesen.

Tal y como se comentó anteriormente se propone realizar una representación global de todos registros, pero el principal problema que surge al comienzo es la falta de conocimientos sobre la herramienta ofimática a utilizar, “Matlab”, en cuanto a escribir código se refiere y así poder simular y representar el periodo completo de datos ya que los datos se encuentran en hojas Excel distintas, por lo que con los conocimientos disponibles, como máximo se permite analizar un mes completo y no representar todo el año entero que sería lo ideal. Sin embargo para hacer este primer análisis de los datos se consideró más que suficiente el ir mes a mes.

Todo esto es aplicable a cualquiera de las radiaciones puesto que todas ellas se encuentran en el mismo formato.

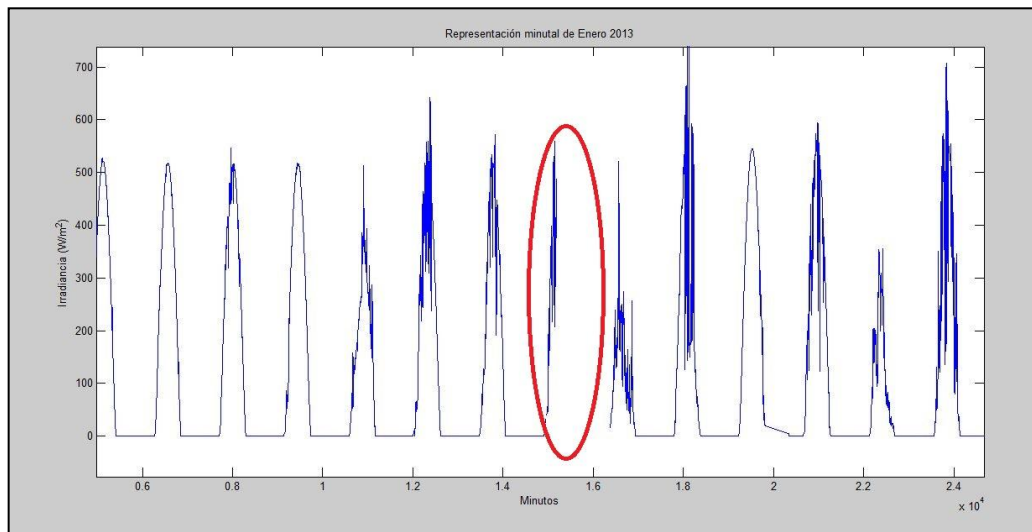
### Situación de la GHI Medida:

Comenzando por representar la radiación global horizontal (GHI), y viendo las representaciones mes a mes de los datos minútales de radiación global horizontal medida (ver ejemplo en la Ilustración14), desde esa distancia puede parecer que estos se encuentran en perfecto estado, pero cuando se llevó a cabo un análisis más al detalle, es decir, ir día a día analizando los datos, nos encontramos con una serie de problemas que nos hicieron retroceder y que se explican a continuación.



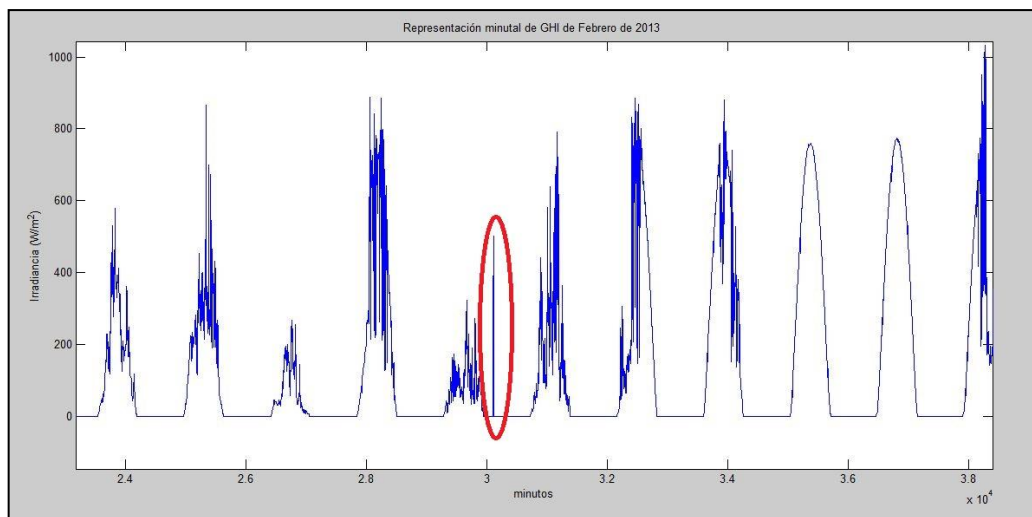
**Ilustración 14. Representación completa del mes de Febrero 2013**

1. Al representar el mes de Enero nos encontramos con que en el día 11 de Enero faltan datos, por lo que en primera instancia se toma la decisión de aquellos días en los que no se dispone de datos suficientes, saltarnos su simulación, es decir, en un futuro lo que se hará es dejar de simular ese día en concreto tanto de la radiación medida como predicha y de esta manera no compararlos.



**Ilustración 15. Representación minutal de GHI medida del mes de Enero 2013**

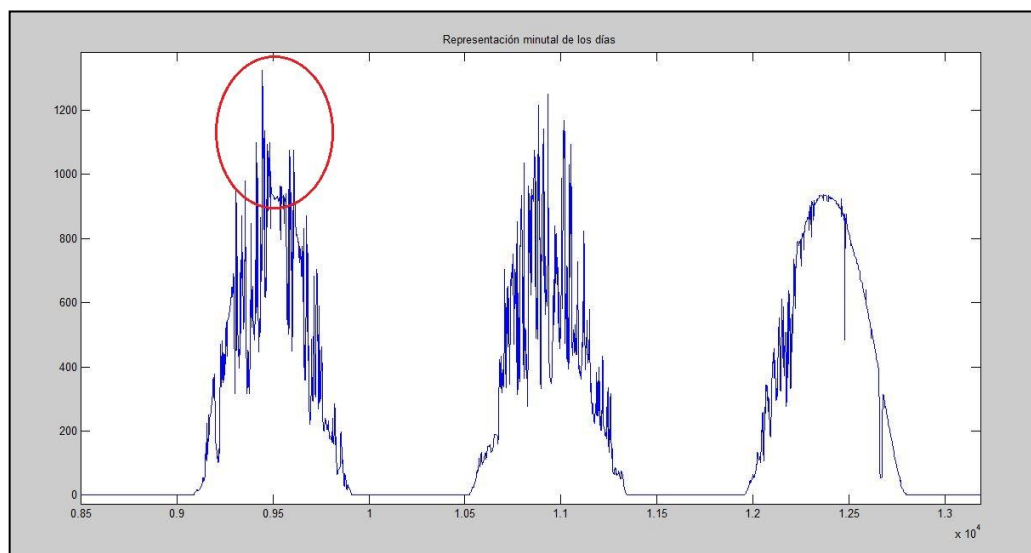
2. Tras continuar con la simulación de los meses posteriores, nos encontramos con que en el mes de Febrero en la noche del 21 al 22 de este mismo mes aparece un pico de radiación que llega a durar unos 10 minutos y alcanza los  $550 W/m^2$ . La respuesta ante este caso es la de eliminar estos datos y ponerlos a cero, ya que pueden ser debidos a una luz artificial durante la noche y lo único que conseguirían sería darnos resultados negativos en un futuro.



**Ilustración 16. Rpresentación minutal de GHI medida en el mes de Febrero**

3. Otro caso que es muy común y en un comienzo parecía extraño era que a lo largo del día aparecían unos picos de radiación que superaban los  $1200 W/m^2$  de radiación GHI

medida en la superficie, cosa que es prácticamente imposible puesto que la radiación extraterrestre es de  $1367\text{W/m}^2$  y si a eso le añadimos toda la atenuación que esta sufre a su paso por la atmósfera, como máximo se podrían alcanzar para la latitud en la que se están midiendo los datos, valores de unos  $1000\text{W/m}^2$  de radiación global horizontal. Por lo que, tras analizarlo y comentarlo entre los interesados, se llegó a la conclusión de que estos picos eran causados por reflejos que los rayos de sol sufren a su paso por las nubes y son redirigidos al punto en el cual se está llevando a cabo la medición y esta aumenta de forma considerable. A continuación se muestra un ejemplo de los tantos casos que tienen lugar a lo largo de un año completo.

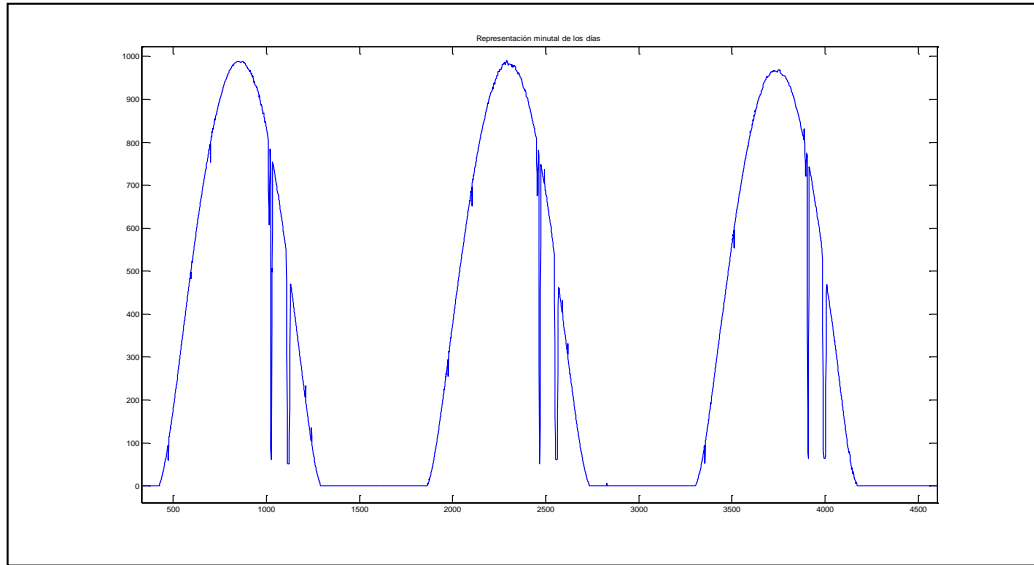


**Ilustración 17. Representación minutal de GHI para el 6, 7 y 8 de Mayo de 2013**

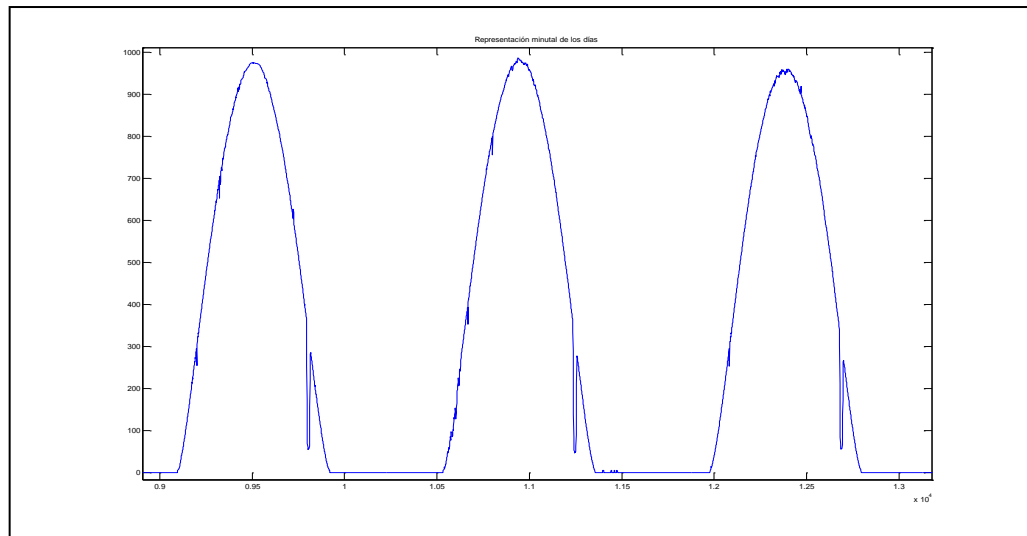
Estos picos de radiación no se consideran algo anómalo sino todo lo contrario, con lo que se dejan tal cual puesto que son insignificantes (duran menos de un minuto). Es más, si se lleva a cabo un caso real nuestras plantas solares van a ver esta radiación y se aprovecharán de ella.

4. Al continuar con la representación de la radiación global horizontal (GHI) a lo largo de los meses de verano, se dio con una anomalía un tanto curiosa y que se repetía de manera diaria prácticamente siempre a la misma hora, era una sombra que duraba unos veinte minutos y que se apreciaba perfectamente en días claros, ya que en días

de nubes y claros podía pasar desapercibida. A continuación se muestra un pequeño ejemplo de este caso.



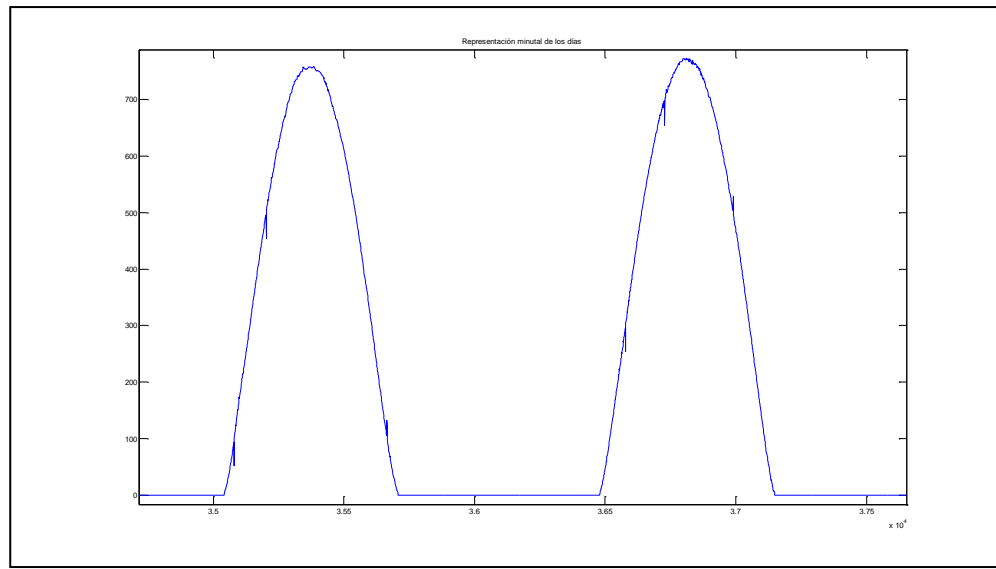
**Ilustración 18. GHI minutal del 1 al 3 de Junio**



**Ilustración 19. Representación del 7 al 9 de Agosto.**

Aunque aquí se muestran unos pocos días, decir que esto ocurría durante los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre de forma diaria. Este problema ya se puede categorizar de algo más grave puesto que si en los días claros, los cuales se consideran los más claves para analizar y llevar a cabo el estudio de los datos de predicción, ya se tienen errores, el estudio perdería credibilidad.

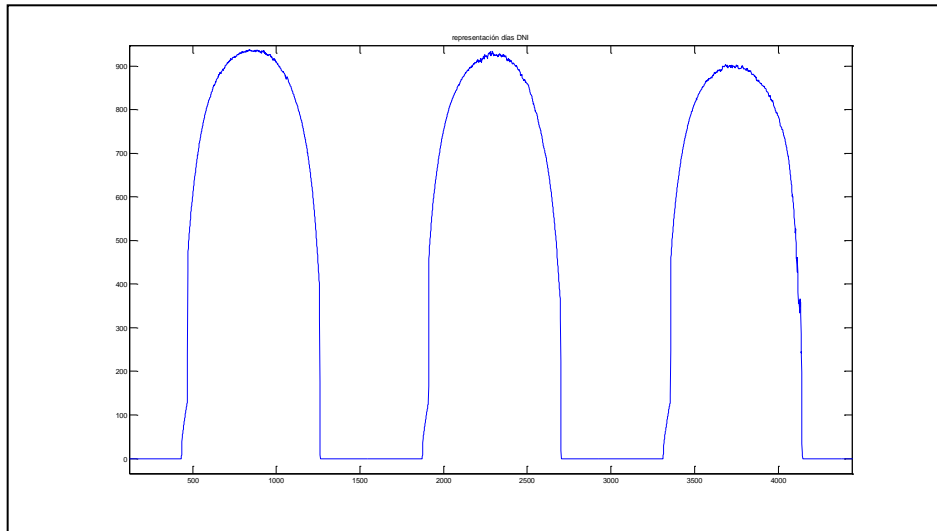
Lo que parece indicar a todas luces es que se trata de un objeto, ya sea la torre de concentración, una antena, o una caseta, que solamente en aquellos meses en que el sol realiza un recorrido más amplio provoca sombras en el piranómetro. A continuación se muestran dos días despejados consecutivos del mes de Febrero y se ve como en estos no afecta la sombra.



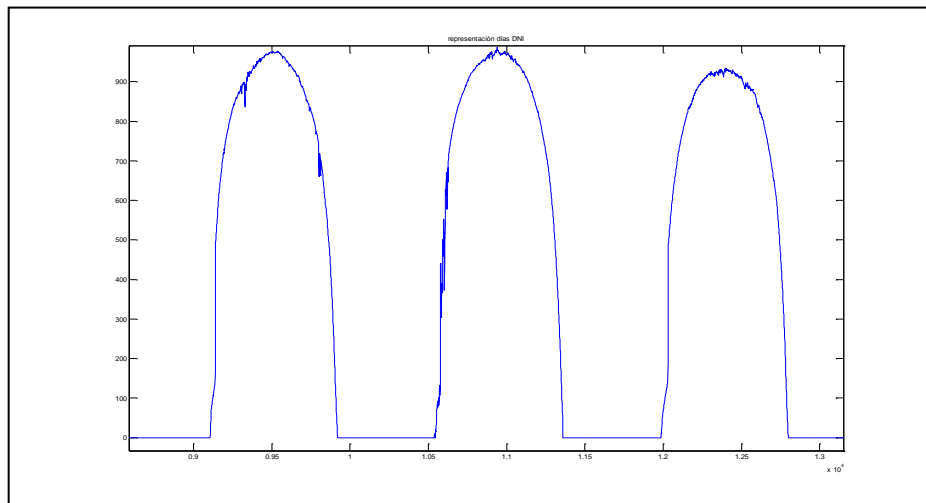
**Ilustración 20. Representación minutal de GHI del 25 y 26 de Febrero.**

Visto esto y para seguir con un análisis más profundo del problema y tras pensar que puede tratarse de una sombra, se decide representar la radiación directa (DNI) puesto que esta también debería verse afectada, ya que el pirheliómetro realiza un seguimiento constante al sol y por consiguiente cuando el sol pase por el objeto el cual esta sombreando, también se debería ver la sombra. A continuación se representan los mismos días anteriormente citados para ver su comportamiento.





**Ilustración 21. Representación minutal de DNI para el 1, 2 y 3 de Junio**



**Ilustración 22. Representación minutal de DNI del 7 al 9 de Agosto.**

Visto que no se cumple lo esperado y tras ser comentado con los encargados de suministrar los datos, se llega a la conclusión de que la radiación global y la directa no están siendo medidas en el mismo punto pero si en un sitios cercanos.

Una vez analizado el problema, la primera solución que se plantea es obtener la radiación global horizontal a partir de la radiación directa y la difusa, apoyándonos en la siguiente fórmula:

$$GHI = DHI + DNI \cdot \cos\theta$$

El único inconveniente que se planteaba en este caso era el tener que ir calculando el coseno de tita para cada registro minutal que se tenía tanto de DNI como de DHI, tarea laboriosa pero factible disponiendo de una herramienta potente como lo es Matlab.

Finalmente y puesto que el problema fue también comentado a Acciona Soalar, empresa responsable de los datos medidos, fueron facilitados unos nuevos datos correspondientes a la planta de Palma del Río I, muy próxima a Palma del Río II, con lo que el problema quedó solucionado, el inconveniente es que en este caso en lugar de disponer de datos minútales, se tratan de 5-minutales por lo que en un futuro habrá que tener cuidado puesto que se dispondrán de registros minútales para la radiación directa y difusa y de cinco-minútales para la global.

Una vez visto esto queda hacer el mismo trabajo que se hizo con los datos minútales, y es representar todos los datos juntos mes a mes y ver si estos datos se encuentran en buen estado. A diferencia que con los minútales en los cuales se encontraron varios datos en mala situación, con estos tan solo se encontró una pequeña errata para el día 14 de Enero de 2013 y que se muestra a continuación.

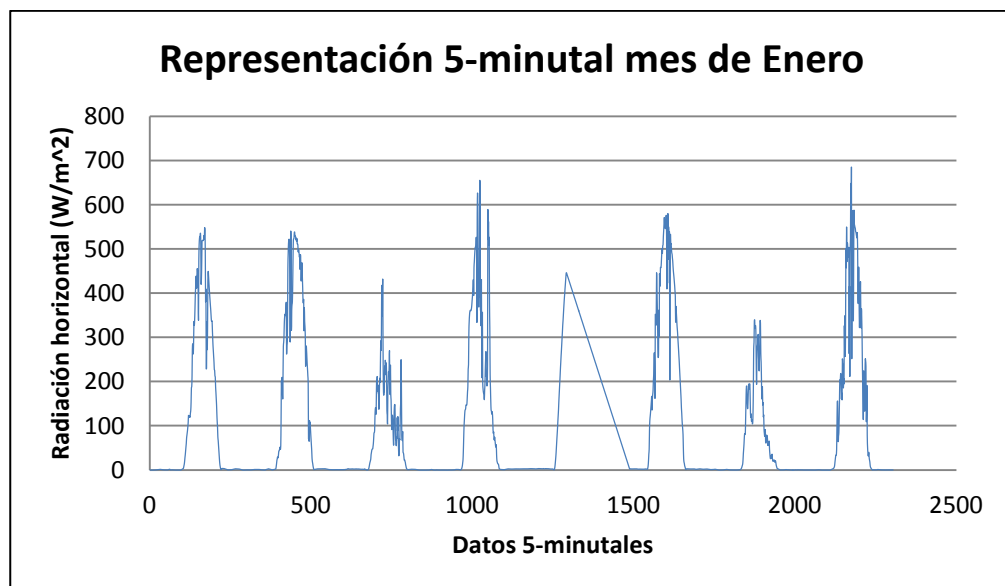


Ilustración 23. Representación 5-minutal del mes de Enero.

La decisión que se ha tomado para este día es la de saltárselo y no incluirlo ni en las simulaciones ni en las comparaciones, la manera de hacerlo mediante código es muy sencilla y se explicará en apartados posteriores.

### Situación de la DNI

Tras haber analizado la radiación global horizontal medida en el apartado anterior, en este apartado se pretendía analizar la radiación directa normal y ver si existía alguna anomalía para un futuro análisis con respecto a la radiación predicha. Por falta de tiempo y por otros motivos que se explicaran en apartados posteriores, este análisis no se llevó a cabo y se deja pendiente por si en un futuro hubiese tiempo de estudiar la predicción de DNI ya que de momento el estudio va a estar dedicado a la radiación global horizontal.

Con respecto a los datos medidos restantes que faltarían por analizar, radiación horizontal difusa, velocidad de viento y temperatura ambiente, no se ha considerado el analizarlos puesto que en un primer lugar no se precisa utilizarlos y en caso de ser necesitados en estudios futuros, ya pensaría cual es la mejor forma de revisarlos.

### 2.2.2.2 DATOS PREDICHOS

Tras realizar el análisis de los datos medidos de GHI proporcionados por la estación meteorológica de Palma del Río II y Palma del Río I y ver que el estado de ellos era correcto para poder ser utilizados en futuros análisis y comparaciones, es momento de analizar los datos de predicción de radiación solar.

#### Meteorológica

La primera empresa a analizar, “Meteorológica”, dispone tanto de predicciones de radiación global horizontal (GHI) como de radiación directa normal (DNI) en distintos formatos y maneras, las cuales se explican a continuación.

#### Radiación Global Horizontal:

Los datos de GHI que se disponen van desde el 1 de Enero de 2012 hasta el 7 de Octubre de 2013, de todos ellos se encontraban almacenados en ficheros “.txt” día por día desde el 25 de Junio hasta el 7 de Octubre de 2013 por lo que hubo que volcarlos a una hoja Excel día a día, mientras que los datos de meses anteriores ya estaban introducidos en una

hoja Excel. Lo que se hizo fue crear una hoja Excel final en la que se incluían todos los datos juntos.

El formato en el que la empresa “Meteológica” presenta los datos es dando una fecha en la que se lleva a cabo la predicción de la radiación (fecha emisión) a lo largo de un horizonte de 24 horas (fecha de predicción). Esta última fecha es la que realmente interesa puesto que determina la radiación que se predice tener en ese determinado momento y que por consiguiente servirá para poder cruzar datos y evaluar dichas predicciones.

Recaltar que se trata de valores horarios de predicción de GHI a diferencia de los datos medidos que están en de valores cinco-minutales, por lo que en futuras simulaciones habrá que buscar la manera más adecuada de cruzarlos. A continuación se muestra una imagen en la cual se ve el formato con el que “Meteologica” realiza las predicciones.

	A	B	C	D	E
1	fecha emisión	fecha predicción	percentil10	percentil50	percentil90
2	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 00:00:00	0	0	0
3	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 01:00:00	0	0	0
4	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 02:00:00	0	0	0
5	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 03:00:00	0	0	0
6	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 04:00:00	0	0	0
7	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 05:00:00	0	0	0
8	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 06:00:00	0	0	0
9	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 07:00:00	0	0	0
10	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 08:00:00	27	33	65
11	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 09:00:00	84	163	221
12	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 10:00:00	240	307	355
13	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 11:00:00	332	432	461
14	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 12:00:00	361	505	532
15	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 13:00:00	362	499	513
16	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 14:00:00	321	421	437
17	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 15:00:00	126	296	314
18	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 16:00:00	55	112	205
19	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 17:00:00	2	6	29
20	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 18:00:00	0	0	0
21	01-ene-12 00:00:00	01-ene-12 19:00:00	0	0	0

**Ilustración 24. Formato de presentación de los datos de “Meteologica”**

Además de las fechas, también, tal y como se puede apreciar en la imagen anterior, se dispone de la radiación (GHI) con diferentes percentiles (10, 50 y 90). Los percentiles se utilizan mucho a la hora de dar predicciones y lo que indican, como por ejemplo en este caso, es la probabilidad de que la radiación que se tendrá en ese instante, esté por debajo de ese valor de radiación que se está prediciendo para ese percentil. Por ejemplo, siguiendo la ilustración 25 que se muestra a continuación diríamos que para el caso del percentil 10, se

tiene una probabilidad del 10% de que la radiación en esas horas, esté por debajo de ese valor de radiación predicha. Lo mismo sucedería con el percentil 90 (hay un 90% de probabilidades de que la radiación que se dé en ese instante de tiempo se encuentre por debajo del valor de radiación predicha).

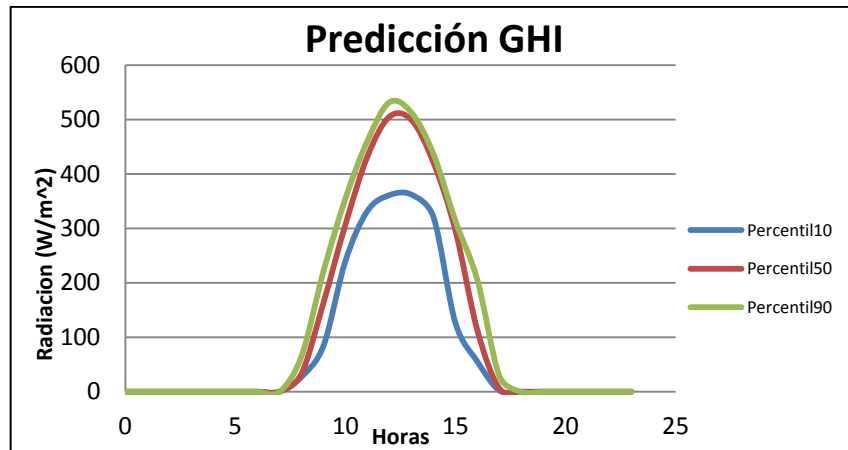


Ilustración 25. Ejemplo de predicción de GHI en base a distintos percentiles.

En la gráfica anterior, la cual se tiene representada las diferentes predicciones de radiación con los distintos percentiles proporcionada por “Meteologica” para el día 1 de Enero de 2012, se ve como lo comentado anteriormente se cumple, es decir, la radiación predicha con un percentil 10 es siempre menor que la del percentil 50 y esta, a su vez más baja aún que la del 90.

Se podría decir que el percentil 50 es una predicción de radiación neutral, con un 50% de probabilidades de que la radiación sea mayor y con otro 50% de que sea menor, y que por ello será en principio la más utilizada a la hora de realizar los cálculos y comparaciones, aunque como se verá más adelante los demás percentiles también son muy útiles, como por ejemplo a la hora de saber cuánta incertidumbre tiene una predicción, es decir, si hay mucha diferencia entre el percentil 10 y el percentil 90 se puede decir que la predicción para ese día es un tanto incierta, por el contrario si la diferencia es muy baja, la predicción realizada (percentil50) tiene más probabilidades de acertar. A continuación se muestran dos ejemplos, el primero (Ilustración 26) en el cual la incertidumbre es muy grande (ver la diferencia entre la radiación del percentil 90 y 10) y el segundo (Ilustración 27) con muy poca.

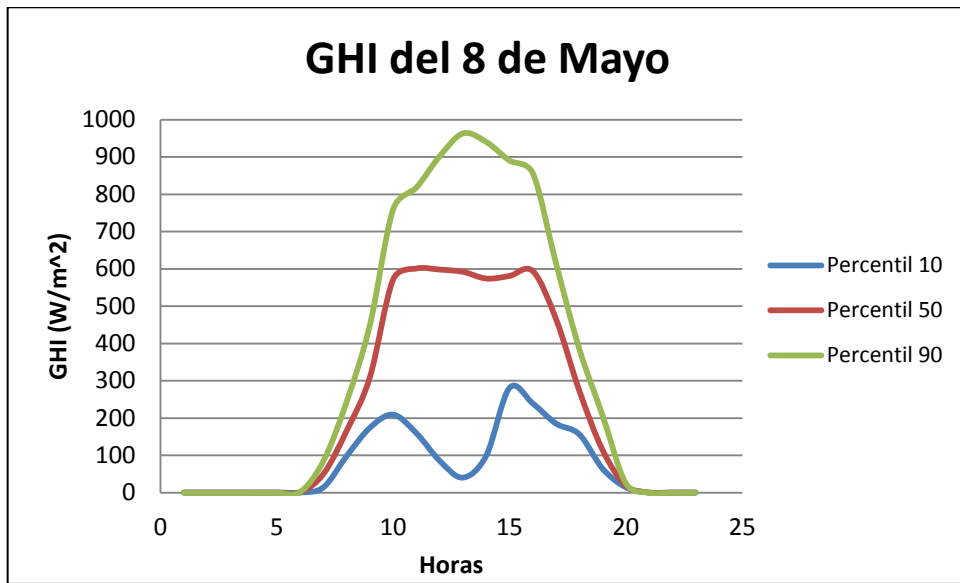


Ilustración 26. Predicción de GHI con mucha incertidumbre.

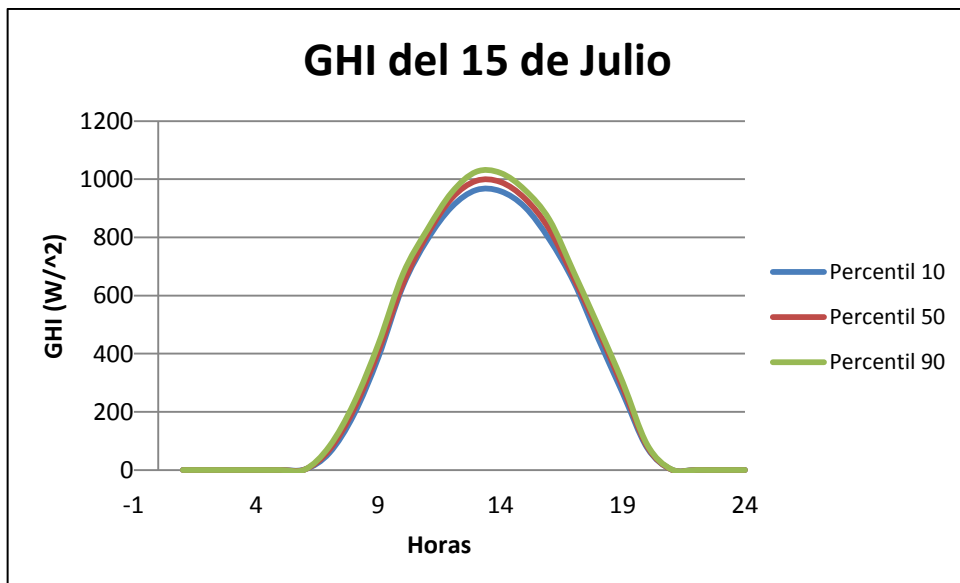
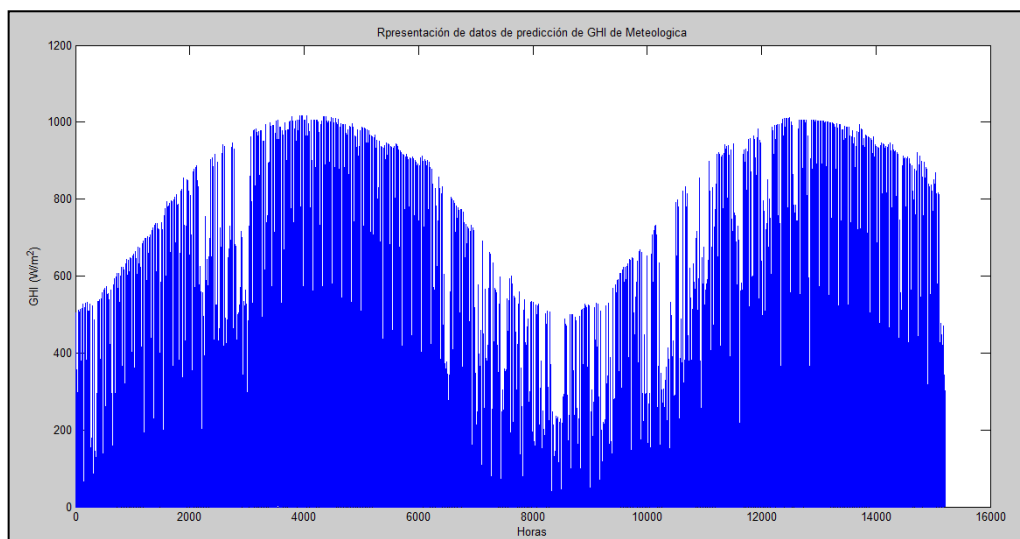


Ilustración 27. Predicción de GHI con muy poca incertidumbre.

Dicho todo lo anterior, tener un día con muy poca incertidumbre no quiere decir que se vaya a acertar con toda seguridad. Añadir también que se disponía del percentil 75 para los datos de Enero de 2012 a Junio de 2013 pero se decidió no mantenerlo puesto que con los tres anteriores ya era suficiente.

Continuando con el análisis de datos y tras este pequeño himpas en la explicación de los percentiles, lo que se pretende es al igual que se hizo con los datos medidos, llevar a cabo

un análisis para ver si todos los datos proporcionados se encuentran en buenas condiciones y no se tienen anomalías. Por lo que se propone ahora sí realizar una representación de todos los datos conjuntamente (es posible puesto que se tienen todos juntos en una misma hoja Excel) y de esta manera hacer más fácil su visualización ante posibles errores. A continuación se muestra la representación horaria de GHI predicha, llevada a cabo por “Meteologica” que abarca desde el 1 de Enero de 2012 hasta el 7 de Octubre de 2013.



**Ilustración 28. Representación datos de predicción horarios de Meteológica.**

Vista la Ilustración 28 lo poco que se puede comentar de la representación es que se aprecia cual es la trayectoria de la radiación a lo largo del año, viendo como hay dos concavidades, la primera nada más comenzar, correspondiente a Enero de 2012, y la segunda correspondiente a los meses de Diciembre 2012, Enero 2013 y Febrero 2013. Por lo que para hacer un análisis más profundo habría que analizar los datos de forma más detallada.

Al llevar a cabo el análisis más detallado de ir recorriendo día a día todos los datos de predicción de GHI suministrados por Meteológica, no se encontraron anomalías ni errores que se pudieran apreciar a simple vista.

El error se encontró analizando los datos originales desde el fichero Excel. Tal y como se explicó anteriormente los datos venían divididos en dos hojas Excel distintas, la primera iba de Enero de 2012 hasta Junio de 2013 y la segunda iba de Junio de 2013 a Octubre de 2013, el problema se encontró en que había un salto de días entre la primera hoja y la segunda, la primera hoja llegaba hasta el día 19 y la segunda empezaba en el día 25. Lo que hizo dudar

fue que el día 19 de Junio aparecía repetido 10 veces y con distintos valores por lo que podría parecer un error de fecha y que los días 20, 21, 22... estuviesen contenidos en estos. Esto se descartó puesto que si eso fuese así, la “supuesta” predicción del día 25 (descrita con la fecha 19 de Junio) y la predicción de ese día (suministrada en el otro fichero) deberían ser las mismas. Como había una pequeña discrepancia en los valores, lo que se decidió fue no contemplar estos datos ni para ésta ni para futuras simulaciones. A continuación se muestran estas discrepancias para el 25 de junio.

Fecha	Predicción real			Supuesta Predicción		
	Percentil10	Percentil50	Percentil90	Percentil10	percentil50	percentil90
25/06/2013 0:00	0	0	0	0	0	0
25/06/2013 1:00	0	0	0	0	0	0
25/06/2013 2:00	0	0	0	0	0	0
25/06/2013 3:00	0	0	0	0	0	0
25/06/2013 4:00	0	0	0	0	0	0
25/06/2013 5:00	3	3	3	3	3	3
25/06/2013 6:00	100	103	126	94	103	115
25/06/2013 7:00	254	261	297	241	261	277
25/06/2013 8:00	455	460	492	424	465	476
25/06/2013 9:00	675	683	704	661	697	704
25/06/2013 10:00	759	846	855	785	846	863
25/06/2013 11:00	920	949	969	920	949	979
25/06/2013 12:00	985	1006	1027	985	1006	1027
25/06/2013 13:00	978	998	1019	978	998	1019
25/06/2013 14:00	900	939	958	920	939	958
25/06/2013 15:00	789	822	847	789	831	856
25/06/2013 16:00	637	663	683	623	663	683
25/06/2013 17:00	451	485	504	418	480	504
25/06/2013 18:00	258	296	310	235	287	304
25/06/2013 19:00	89	99	106	81	95	106
25/06/2013 20:00	2	2	2	1	2	2
25/06/2013 21:00	0	0	0	0	0	0
25/06/2013 22:00	0	0	0	0	0	0
25/06/2013 23:00	0	0	0	0	0	0

Tabla 1. Ejemplo análisis datos de Meteorologica del día 25 de Junio.

En resumidas cuentas, los días 20, 21, 22, 23 y 24 de Junio referidos a la predicción de GHI proporcionados por “Meteorológica” no serán simulados. Más adelante se deberán tomar decisiones acerca de cómo no simularlos y sobre todo tener en cuenta que dichos datos no se encuentran puesto que en los datos medidos sí que lo están.



### Radiación Directa Normal

La empresa “Meteorológica” en lo que a datos predichos de radiación directa normal (DNI) se refiere, únicamente ha proporcionado datos desde el día 25 de Junio de 2013 hasta el 7 de Octubre de 2013, poco más de tres meses. Como se trataba de un pequeño periodo de tiempo, se decidió no llevar a cabo ningún análisis de estos datos y reservarlos por si en un futuro hubiese más tiempo y de esta manera poder analizar el comportamiento de la radiación directa a lo largo de un periodo lo suficientemente prolongado.

Decir que al igual que sucedía con las predicciones de GHI proporcionadas por “Meteorologica”, las de DNI venían en el mismo formato, son predicciones que tienen lugar a las 6:00 (UTC) y que predicen en un horizonte de 24 horas. Los datos venían contenidos en archivos “.txt” y ya han sido trasladados y almacenados en una hoja Excel desde la cual se pueda trabajar con ellos de forma más práctica.

Sun to Market

“Sun to Market” o S2m, se trata una empresa totalmente independiente a “Meteologica”, la cual también colabora en la aportación de datos de radiación predicha, pero en este caso con tan solo datos de radiación directa (DNI). El formato en el que presenta los datos es distinto al de “Meteologica”, lo que podría haber hecho interesante la comparación de estos datos con los de la otra empresa anteriormente citada, pero esto no pudo ser así puesto que los datos no se encontraban en una buena situación. A continuación se explica tanto su formato como su mala situación.

La empresa “Sunt to Market” se dedica al Nowcasting, es decir, predice a muy corto plazo. El formato en el que realiza las predicciones es una predicción cada 15 minutos, y en cada una de las predicciones, predice con un horizonte de 135 minutos en los cuales van de 15 en 15 minutos también. En este caso no se dan las predicciones por percentiles por lo que se supone que todas las predicciones serían las equivalentes a las de un percentil 50. A continuación se muestra un ejemplo del formato que presentan las predicciones.

Fecha	"Plazo = 0"	"Plazo = 15"	"Plazo = 30"	"Plazo = 45"	"Plazo = 60"
01/06/2013 5:00	338,53	490,99	599,90	677,20	744,93
01/06/2013 5:15	490,99	599,90	677,20	744,93	790,05
01/06/2013 5:30	599,90	677,20	744,93	790,05	813,42
01/06/2013 5:45	677,20	744,93	790,05	813,42	855,03
01/06/2013 6:00	744,93	790,05	813,42	855,03	867,63
01/06/2013 6:15	790,05	813,42	855,03	867,63	899,34
01/06/2013 6:30	813,42	855,03	867,63	899,34	907,48
01/06/2013 6:45	855,03	867,63	899,34	907,48	920,89
01/06/2013 7:00	867,63	949,01	953,99	1022,89	1045,17

**Ilustración 29. Ejemplo formato S2M**

En la ilustración 30, se puede ver cómo están realizadas las predicciones. Si nos fijamos en la primera fila, se podría decir que la predicción de plazo 0 es la que predice la radiación que va haber de 5:00 a 5:15 y así sucesivamente hasta llegar al plazo 135 (no mostrado en esta imagen) por lo que se podría decir que se predice con un horizonte de 150 minutos en lugar de 135. Además de lo anteriormente citado, la imagen sirve para mostrar lo que podría parecer a simple vista intuitivo, que la predicción hecha en primer lugar con un horizonte de 60 minutos, justo una hora después de la primera predicción se sigue cumpliendo dicho valor con exactamente los mismos decimales, lo que ahora en lugar de intuitivo puede

dar lugar a pensar que estos valores no son actualizados muy a menudo. A continuación se muestra un ejemplo en el cual se aprecia esto de manera más exagerada.

Fecha	"Plazo = 0"	"Plazo = 15"	"Plazo = 30"	"Plazo = 45"	"Plazo = 60"	"Plazo = 75"	"Plazo = 90"	"Plazo = 105"
01/06/2013 5:00	338,53	490,99	599,90	677,20	744,93	790,05	813,42	855,03
01/06/2013 5:15	490,99	599,90	677,20	744,93	790,05	813,42	855,03	867,63
01/06/2013 5:30	599,90	677,20	744,93	790,05	813,42	855,03	867,63	899,34
01/06/2013 5:45	677,20	744,93	790,05	813,42	855,03	867,63	899,34	907,48
01/06/2013 6:00	744,93	790,05	813,42	855,03	867,63	899,34	907,48	920,89
01/06/2013 6:15	790,05	813,42	855,03	867,63	899,34	907,48	920,89	943,94
01/06/2013 6:30	813,42	855,03	867,63	899,34	907,48	920,89	943,94	945,40
01/06/2013 6:45	855,03	867,63	899,34	907,48	920,89	943,94	945,40	945,82

**Ilustración 30. Ejemplo situación datos S2M**

Centrando de nuevo el tema y hablando del periodo que abarcan los datos de S2M, se podría decir a simple vista que estos van desde el 1 de Junio al 13 de Octubre de 2013 dando predicciones de 5:00 AM a 21:30 PM hora UTC. Anteriormente se citó la palabra a simple vista, puesto que tras suponer que los datos se encontraban en buen estado, al proseguir con un análisis más profundo, se dio con que faltaban bastantes horas de predicción dentro los días, incluso días enteros. A continuación se muestra un ejemplo sobre la falta de datos de predicción para los día 4, 5 ,6 y 7 de Agosto.

03/08/2013 21:30	0,00	63,65	350,70	199,37
04/08/2013 5:00	0,00	134,86	11,34	273,53
04/08/2013 5:15	0,00	211,90	53,56	782,24
04/08/2013 5:30	16,02	285,03	122,30	778,13
04/08/2013 5:45	63,65	0,00	199,37	774,47
04/08/2013 6:00	134,86	11,34	794,80	771,22
04/08/2013 6:15	211,90	53,56	794,56	783,63
07/08/2013 5:00	0,00	122,30	794,90	772,65
07/08/2013 5:15	0,00	806,66	785,32	764,52
07/08/2013 5:30	11,34	799,06	786,51	748,18
07/08/2013 5:45	53,56	806,12	783,09	721,44
07/08/2013 13:00	768,15	799,87	772,05	699,56
07/08/2013 13:15	775,24	799,05	761,30	676,67

**Ilustración 31.Mal estado datos de S2M.**

Estos errores se repiten a lo largo de los meses disponibles de predicción proporcionados por S2m. A continuación se muestra otro ejemplo en el que faltan los días 17, 18,19 y parte del 16 de Agosto.

16/08/2013 5:30	0,00	309,22	143,66
16/08/2013 5:45	27,26	0,00	221,93
16/08/2013 6:00	85,46	0,00	295,03
16/08/2013 6:15	160,36	18,02	360,07
16/08/2013 6:30	237,82	69,52	416,70
20/08/2013 5:00	0,00	143,66	465,74
20/08/2013 5:15	0,00	221,93	508,41
20/08/2013 5:30	0,00	295,03	545,44
20/08/2013 5:45	18,02	360,07	577,60
20/08/2013 6:00	69,52	416,70	622,97

**Ilustración 32. Mala situación de datos de S2M.**

La falta de todos estos datos, en meses tan importantes para poder trabajar como Agosto hizo que no se decidiera trabajar con predicción de radiación directa normal. El hecho de intentar “apañar” los datos o intentar saltarse aquellos días, los cuales no estaban disponibles, iba a ser muy costoso y no iba a servir de mucho puesto que se romperían posibles seguimientos dentro de un mismo periodo, etc. Si a esto se le suma los pocos datos de DNI (radiación directa normal) que se disponían de “Meteológica” y la mayor importancia que se le dio a la radiación global horizontal puesto que es la utilizada para calcular predicción de potencia fotovoltaica equivalente, fueron motivos más que suficientes para no llevar a cabo un estudio de la predicción de radiación directa normal.

### **3- OBJETIVOS, RESULTADOS Y DISCUSIONES: ESTUDIO Y COMPARATIVA DE LOS DATOS DE PREDICCIÓN DE RADIACIÓN SOLAR**

Tras haber aclarado la situación de los datos disponibles en el apartado anterior y despejar muchas de las dudas que en un comienzo surgieron sobre qué datos estudiar primero y de qué manera, este apartado pretende explicar cuáles fueron los diferentes caminos tomados y describir aquellos problemas encontrados y soluciones tomadas a lo largo del periodo de estudio en lo que a los datos de predicción solar de Palma del Río II se refiere.

#### **3.1 PRIMEROS OBJETIVOS**

Una vez descartado el estudio de radiación directa normal predicha en el apartado anterior, se podría decir que este documento se va a centrar en el estudio de la predicción de radiación global horizontal y más concretamente en los datos aportados por la empresa “Meteológica”. Visto que el periodo de estos datos aportados va desde el 1 de Enero de 2012 hasta el 30 de Septiembre de 2013, y que los datos medidos de los que se disponen van desde el 1 de Octubre de 2012 hasta el 30 de Septiembre de 2013 (un año completo), se va a establecer como periodo a estudiar este último, puesto que el estudio de un año completo se considera suficiente, teniendo datos suficientes como para analizar diferentes episodios. Obviamente cuanto mayor sea el periodo se obtendrán resultados más claros.

#### **3.2 PRIMEROS PASOS**

Para intentar llegar al principal objetivo de este documento, que es ser capaces de valorar como de buenas son las predicciones aportadas por las distintas empresas, ahora ya más exactamente cómo de buenas son las predicciones de radiación global horizontal (GHI) aportadas por “Meteológica”, el primer paso que se propone es comparar directamente los datos de radiación predicha frente a la radiación medida, si es posible representando todo el año completo en un mismo gráfico e intentar de forma visual ver cuáles son los resultados sin llegar a cuantificar errores o aciertos de momento.

Para llegar a lo anteriormente citado, la primera cuestión que surge es cómo hacer las comparaciones puesto que los datos predichos se encuentran en formato horario mientras que

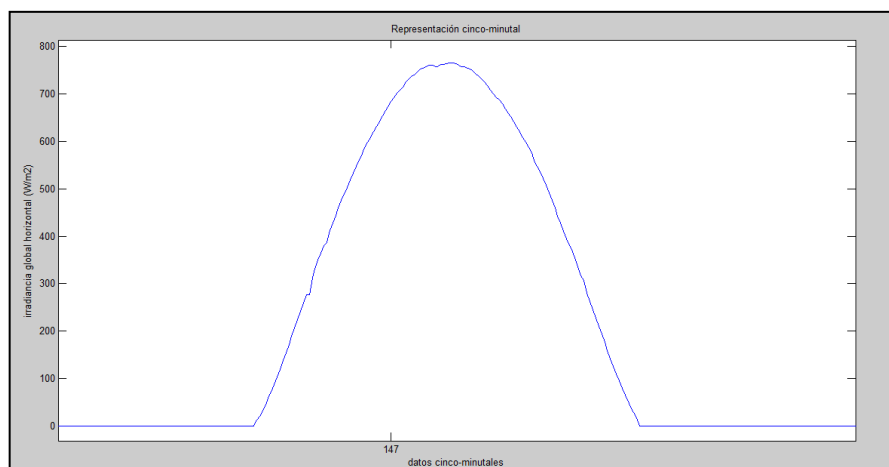
los datos medidos lo están en cinco-minutales. Por lo que hay dos opciones, pasar los valores cinco-minutales a horarios o los horarios a 5-minutales. Debido a la complejidad de este último y puesto que los valores predichos son los que se desea evaluar y por lo tanto cualquier tipo de aproximación a un valor cinco-minutal podría tirar por la borda su valor inicial, se ha decidido utilizar la primera opción, pasar los 5-minutales a valores horarios, trabajo que con unas líneas más de código en Matlab en el cual se hagan la medias de los valores se soluciona sin problemas.

Al igual que sucedía en el análisis de de los datos de radiación medida, todavía no se tiene la destreza suficiente para poder simular todo el año completo por lo que como máximo al comienzo se puede representar meses completos. El problema reside en que los datos medidos se componen de doce hojas Excel distintas, una por cada mes.

Para comenzar con las comparaciones y ver qué sucede, se ha decido empezar por simular días concretos y a su vez diferentes entre ellos (días claros, días con nubes, días con nubes y claros, etc.), haciendo en primer lugar una descripción del tipo de día que se trata viendo los datos cinco-minutales medidos y posteriormente analizando cómo se comporta la radiación predicha.

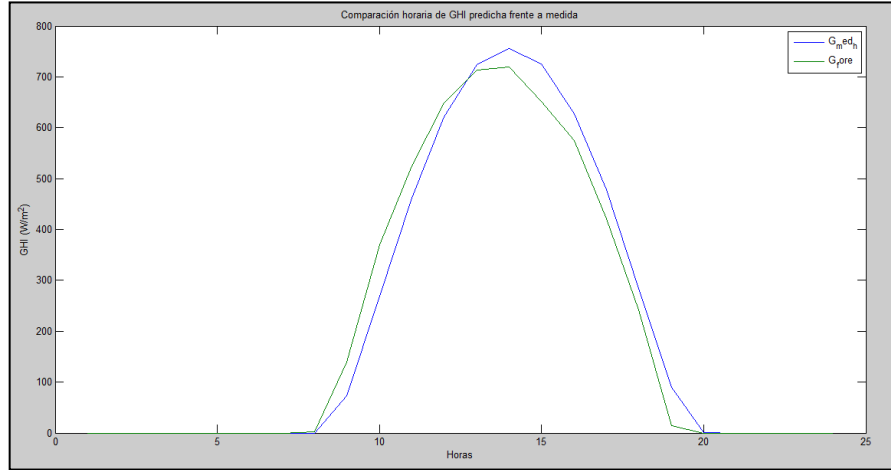
### 25 de Febrero de 2013

Se trata de un día totalmente despejado en el periodo de invierno, esto se aprecia en que la radiación no supera los  $800 \text{ W/m}^2$  en el pico del día.



**Ilustración 33. Representación 5-minutal de GHI del 25 de Febrero.**

A continuación se representa la radiación predicha frente a la medida, pasando los valores cinco-minutales medidos a valores horarios tal y como se explicó anteriormente.

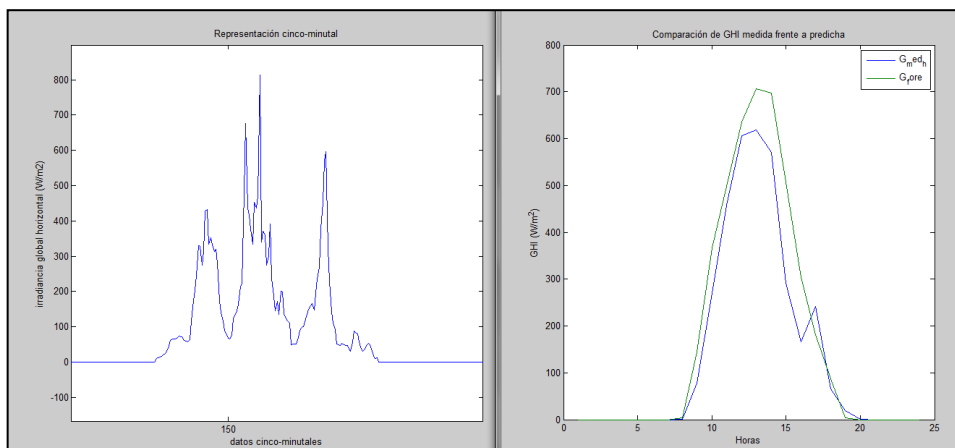


**Ilustración 34. Representación de radiación medida frente a predicha.**

En la imagen anterior, se aprecia como la radiación medida está adelantada a la predicha por lo que hace pensar que el horario en el que se encuentran los datos medidos y los predichos no es el mismo. De todas formas se siguen simulando más días para asegurarse de que esto es así y de que no se trata de un error puntual.

28 de Febrero de 2013

Siguiendo con la representación de días diversos, a continuación se presenta un día con nubes y claros para el mes de invierno.

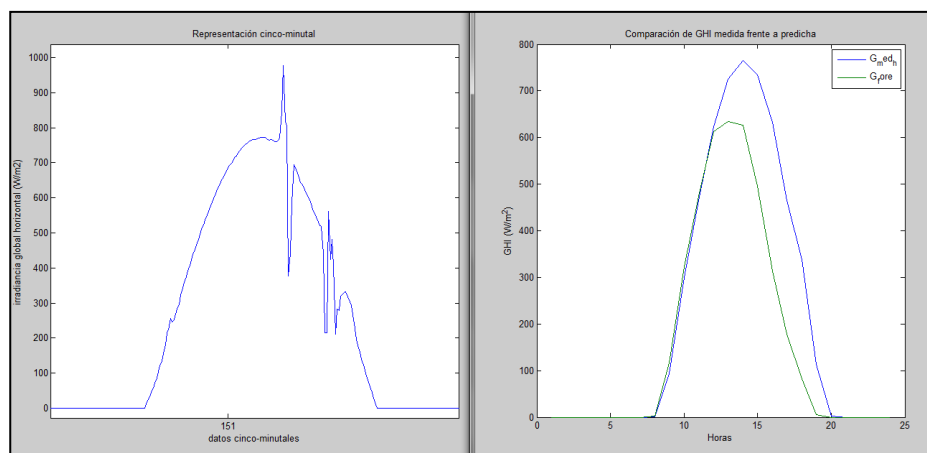


**Ilustración 35. Comparación de GHI de medido frente a predicho para el 28 de Febrero**

Aún por la dificultad de acierto en un día con tantos nubes y claros, se podría decir que la predicción es bastante buena ya que la curva de predicción más o menos se ajusta a la radiación medida.

### 1 de Marzo de 2013

Este día se podría considerar un día claro al cual le entra alguna nube en la segunda parte del día. A continuación se muestra tanto la representación cinco-minutal como la comparativa horaria de radiación medida frente a predicha.



**Ilustración 36. Comparación de GHI de medido frente a predicho para el 1 de Marzo.**

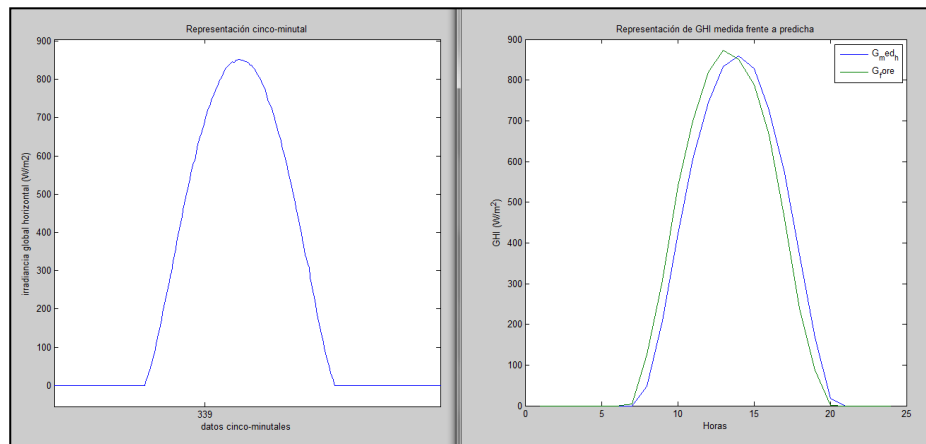
Tal y como se ve en la gráfica de la comparación, la radiación predicha esta vez no acierta mucho, se podría decir que debido a que al 1 de Marzo le precede el 28 de Febrero, día en el cual hubo muchas nubes, la predicción esperaba un día muy parecido a ese y de ahí esas diferencias. Además se ve como la representación de la GHI medida y la de la predicha (“fore” tal y como aparece en la gráfica), no están centradas.

Debido a las sospechas que se tenían de que la radiación medida y la predicha no se estaban representando en el mismo horario se decidió continuar representando días claros en los cuales se ve de forma más clara la alineación de una respecto de la otra.

### 9 de Septiembre de 2013

Se trata de un día claro de verano, en el cual se aprecia perfectamente la desalineación de la radiación predicha frente a la medida. A continuación se muestran los gráficos:



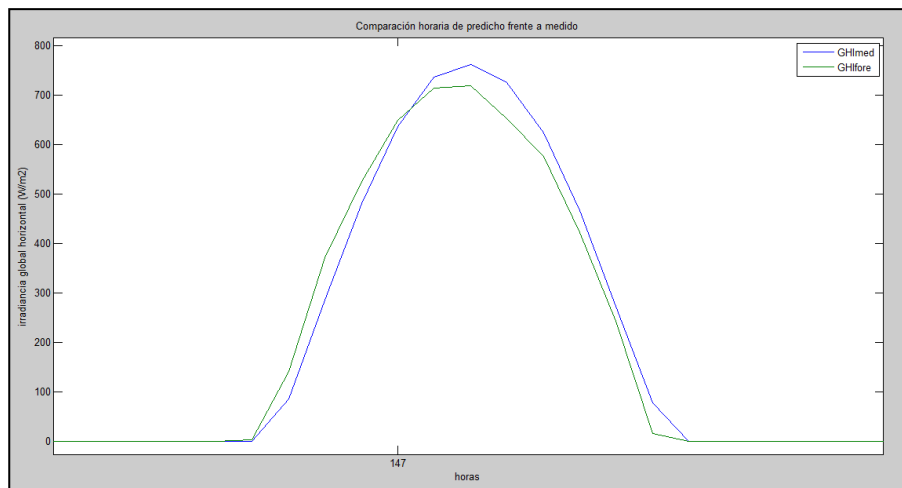


**Ilustración 37. Comparación de GHI medida frente a predicha para el 9 de Septiembre.**

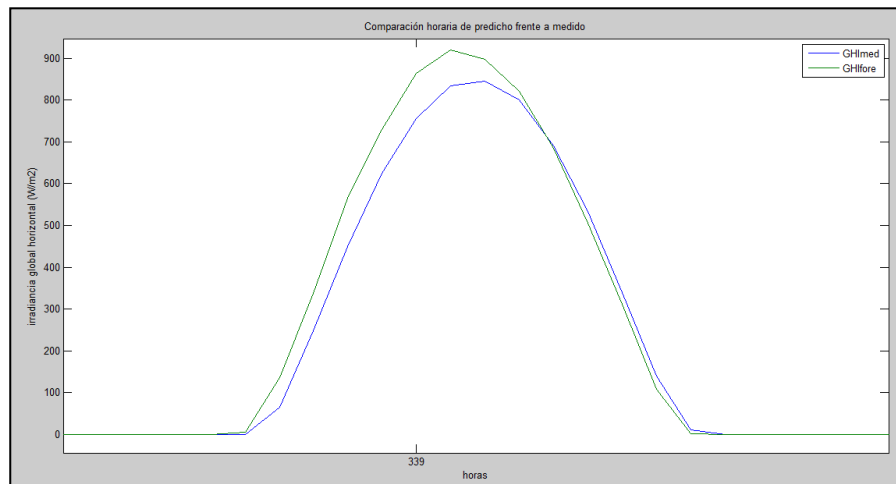
### 3.3 CORRECCIONES HORARIAS

Visto las representaciones anteriores y alguna más que se realizaron pero que no se muestran en este documento, se puede asegurar que los datos medidos están siempre adelantados a los predichos, esto hace pensar que los datos medidos se encuentran en horario GMT+1 que sería el correspondiente a la zona horaria de Palma Del Río (con dos horas de diferencia con respecto al UTC en verano y una en invierno) y que los datos predichos se encuentren en horario UTC.

Una vez visto esto, y tras ser añadida la corrección al código diciéndole que si estamos en horario de invierno los valores de radiación medida se retrasen una hora y si estamos en verano dos, se han vuelto a representar los mismos días que se mostraban anteriormente para ver lo que sucede. A continuación se muestran tanto el 25 de Febrero como el 9 de Septiembre.



**Ilustración 38. Representación predicho-medido del 25 de Febrero.**

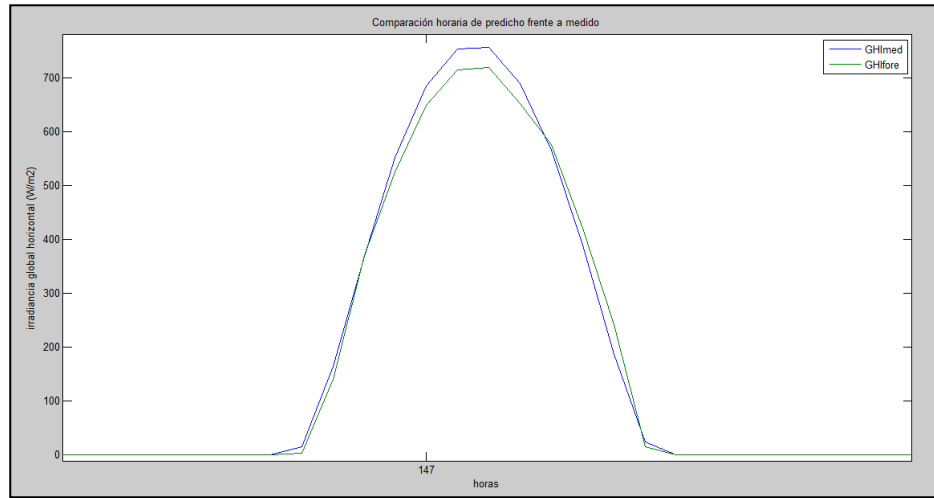


**Ilustración 39. Representación de GHI predicho frente a medido.**

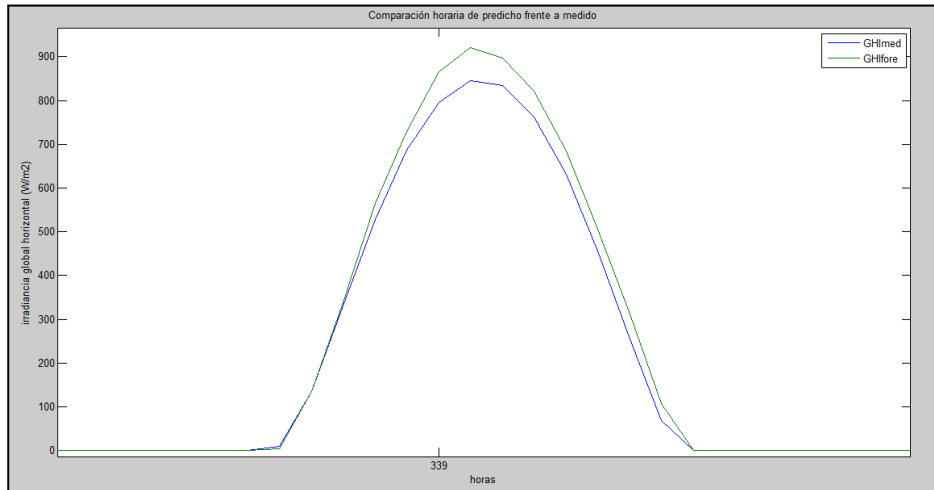
Visto esto y si se comparan con las anteriores representaciones, las previas a realizar el cambio horario, se puede ver que han mejorado puesto que antes la desalineación era mayor, pero sin embargo siguen sin estar finas del todo.

Se ha planteado la posibilidad de que los datos predichos en lugar de estar en horario UTC estuviesen en hora solar, por lo que se han realizado distintas pruebas, pasar primero la radiación predicha a hora solar sin cambio horario y revisar los resultados y posteriormente añadiéndole el cambio horario. Todas estas pruebas sin obtener el resultado esperado.

Pero finalmente, se dio con la solución al problema del ajuste horario, resulta que todo era bastante más fácil que todas las soluciones propuestas anteriormente y que el fallo residía en que se pensaba que una predicción realizada por “Meteologica”, abarcaba desde la hora en la que se hacía hasta una hora más adelante, es decir, una predicción de 961  $W/m^2$  a las 13 h era la radiación que se iba a tener desde las 13 hasta las 14 horas. Sin embargo, a lo que realmente se llegó fue a que una predicción para las 13h incluía la radiación que se iba a tener desde las 12:30h hasta las 13:30 horas. A todo lo anterior se le mantiene que las predicciones estaban hechas en horario UTC y las mediciones en GMT+1, por lo que se continúa haciendo el ajuste horario. A continuación se muestran las representaciones del 25 de Febrero y del 9 de Septiembre ya modificadas.



**Ilustración 40. Representación de GHI predicha frente a medida para el 25 de Febrero (Ajuste horario)**



**Ilustración 41. Representación de GHI predicha frente a medida para el 25 de Febrero (Ajuste horario)**

Una vez solucionado el problema de la alineación horaria, ya se puede continuar con las simulaciones con una garantía de que se obtendrá una mayor calidad en los resultados.

### 3.4 REPRESENTACIÓN MENSUAL

Tras haber analizado y ver como salían las comparaciones de las predicciones frente a las mediciones de radiación mientras se llevaba a cabo la corrección horaria en el apartado anterior, en lugar de continuar simulando días sueltos se ha decidido continuar simulando meses completos. Con el fin de intentar cuantificar y obtener algún resultado con respecto a las predicciones de radiación solar se propone realizar las siguientes representaciones:

- Cinco-minutal: Mediante la representación de los datos medidos cinco-minutales, lo que se pretende es ver el tipo de día que se tiene, apreciar la entrada de una nube, si el día es completamente claro, etc.
- Comparativa lineal entre radiación predicha y medida: Gracias a esta representación se puede ver como sigue la predicción de radiación a la real y medida in-situ, ambas ya en valores horarios.
- Error horario: Mediante esta representación lo que se pretende es intentar cuantificar de forma horaria cuál es la desviación que existe entre la radiación medida y la predicha. Haciendo el cálculo siempre de radiación predicha menos radiación medida.

$$\mathbf{Error}_{horario} = GHI_{predicha\_horaria} - GHI_{medida\_horaria}$$

- Error 3 horario: Al igual que en la anterior, con esta representación lo que se pretende es cuantificar la desviación que se tendría a lo largo de 3 horas, dividiendo a su vez dicho valor entre tres para obtener la desviación horaria que se obtendría a lo largo de tres horas.

$$\mathbf{Error}_{3horario} = \frac{\sum GHI_{predicha\ durante\ 3\ h} - GHI_{medida\ durante\ 3\ h}}{3}$$

- Error 6-horario: Con esta representación se pretende hacer exactamente lo mismo que en la del Error 3-horario pero a lo largo de 6 horas.

$$\mathbf{Error}_{6horario} = \frac{\sum GHI_{predicha\ durante\ 6\ h} - GHI_{medida\ durante\ 6\ h}}{6}$$

- Error diario: Este error al igual que los anteriores lo que hace es sumar aquellas horas en la que se tiene radiación tanto medida como predicha, restarlas entre ellas y dividirla por ese número de horas con radiación y así obtener el error horario medio a lo largo del día.

$$\text{Error}_{\text{diario}} = \frac{\sum GHI_{\text{predicha con radiación} > 0} - GHI_{\text{medida durante con radiación} > 0}}{N^{\circ} \text{ de horas de } GHI > 0}$$

- Tendencia: Este cálculo al igual que el de los errores se basa en calcular la diferencia horaria entre la radiación predicha y la medida pero esta vez acumulando el error a lo largo de todo el periodo a simular.

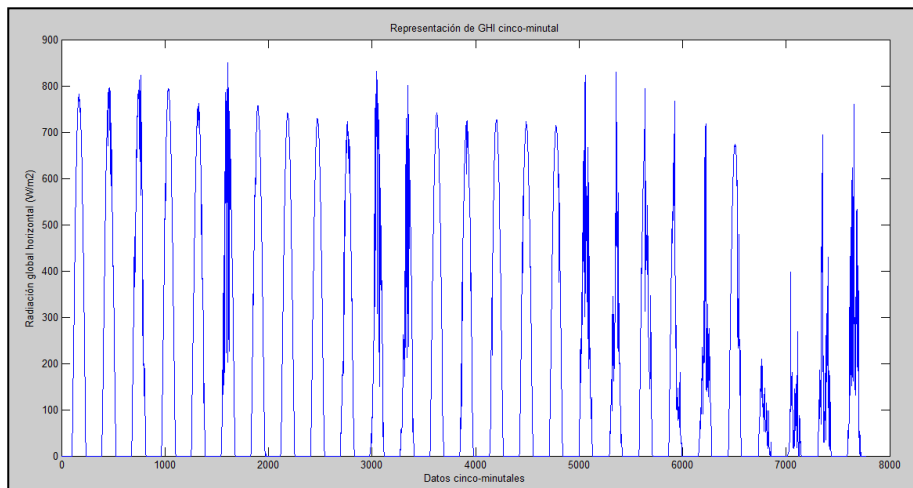
El cálculo de los distintos errores horarios puede ser muy útil en aquellos emplazamientos en los que se dispone de almacenamiento de energía. Lo que se pretende con estos cálculos es ver a groso modo cuál sería la energía que tendría que ser entregada por una batería horariamente para compensar los errores que se podrían estar teniendo al predecir una radiación y por lo tanto una energía entregable a la red al comienzo del día.

Se han elegido distintos errores puesto que no es lo mismo el tener que entregar picos puntuales de energía, en este caso picos horarios, que el poder entregar una energía x horariamente durante todo el día (en este caso el cálculo está hecho durante las horas con radiación).

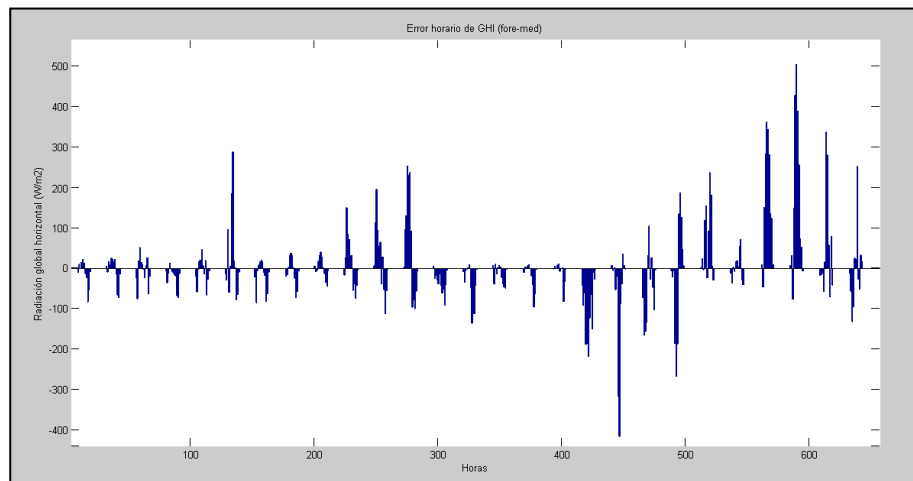
Una vez explicadas cuáles son las gráficas que se van a representar en este apartado, se dispone a representar todas ellas para los distintos meses. La representación de la comparativa lineal de radiación medida frente a predicha, no tiene mucho sentido el indicarla puesto que no dicen mucho si se representa el mes completo, para lo que es de utilidad es para aquellos días en los que se aprecia algún resultado anómalo, se puede acudir a esta representación y ver de qué tipo de día se trata y cómo se están haciendo las predicciones.

### **Octubre de 2012**

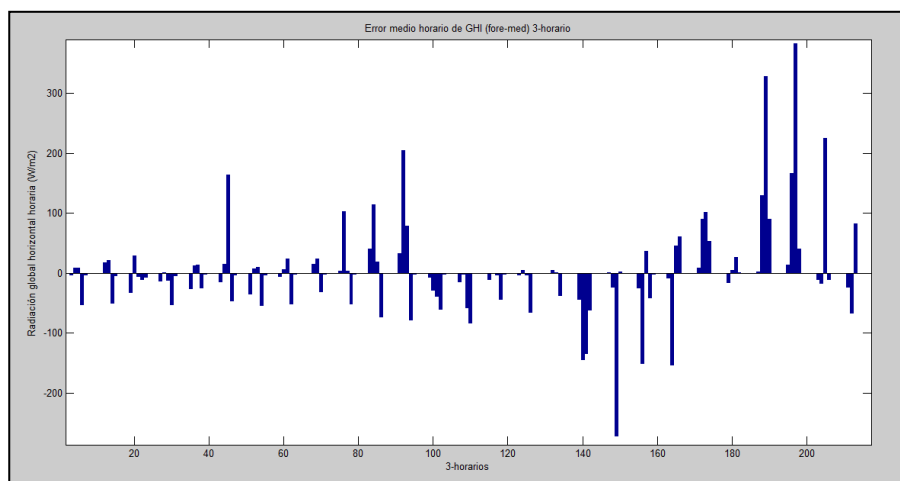
Comenzando con el mes de Octubre, a continuación se muestran los datos cinco-minutales, el error horario, el error 3-horario, el error 6- horario, el error diario y la tendencia del error horario del periodo completo.



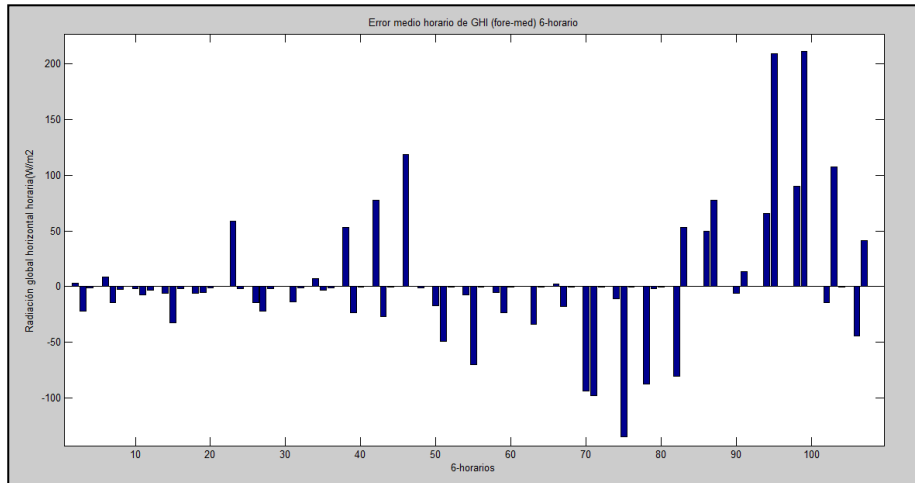
**Ilustración 42. Representación cinco-minutal del mes de Octubre.**



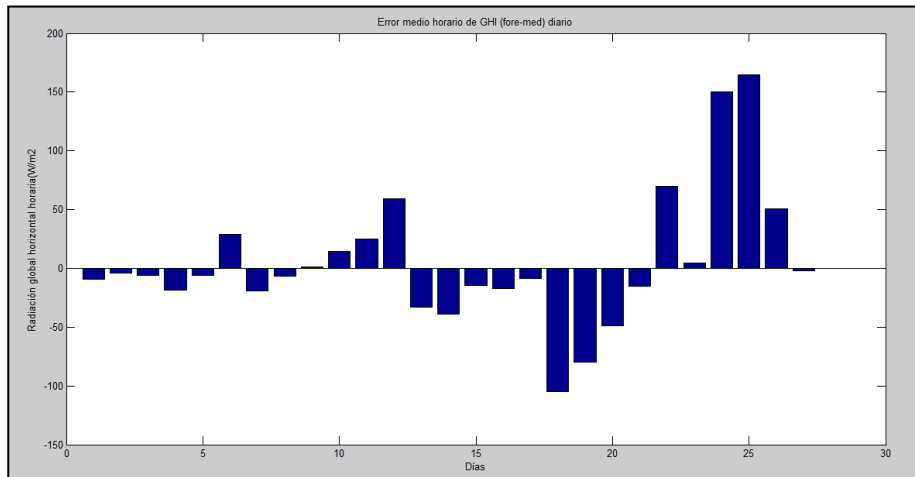
**Ilustración 43. Representación del error horario del mes de Octubre**



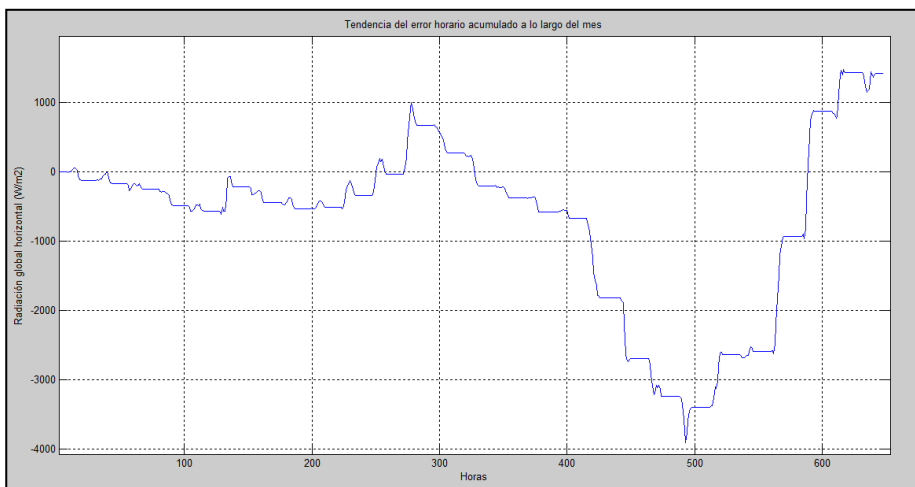
**Ilustración 44. Representación del error 3-horario del mes de Octubre.**



**Ilustración 45.** Representación del error 6-horario del mes de Octubre.



**Ilustración 46.** Representación del error diario del mes de Octubre.



**Ilustración 47.** Representación de la tendencia del error horario acumulado en el mes de Octubre.

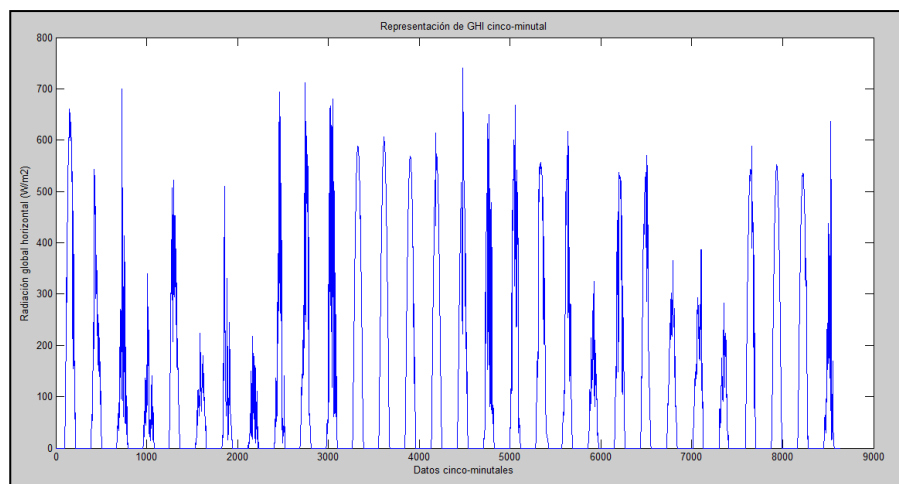


Tal y como se aprecia en la última ilustración la tendencia del error horario acumulado es muy variable a lo largo de todo el periodo, no se puede sacar una conclusión clara de que las predicciones siempre sean mayores que las mediciones ni viceversa.

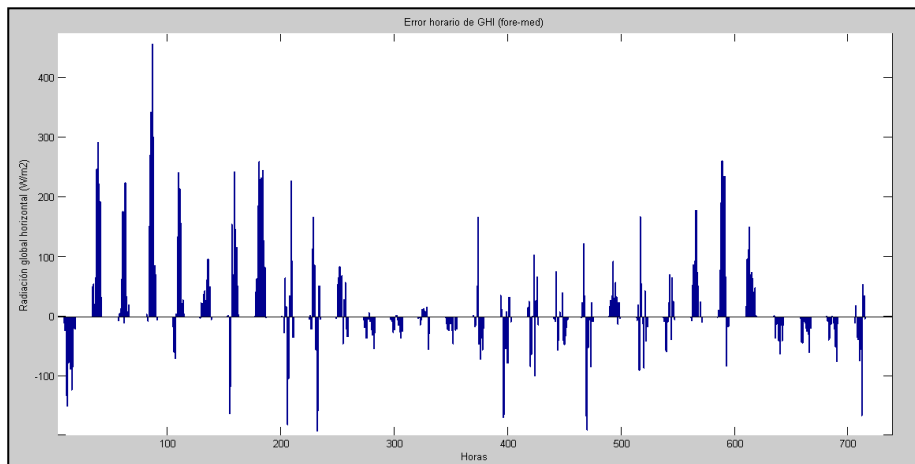
Si que se podría sacar conclusiones de que en días claros, como pueden ser los cinco primeros y los días centrales del mes de Octubre, siempre se tienen errores negativos de radiación medios horarios al final del día y con valores como mucho de  $-20 \text{ W/m}^2$  y con errores horarios puntuales que no superan los  $\pm 40 \text{ W/m}^2$ . Sin embargo en días nublados, como es el caso de la segunda mitad del mes, se puede decir que las predicciones no son buenas puesto que se detectan errores tanto negativos como positivos y aunque los errores de radiación horaria-diaria, son menores de  $80 \text{ W/m}^2$ , los errores horarios que se tienen son de  $\pm 500 \text{ W/m}^2$ .

### **Noviembre de 2012**

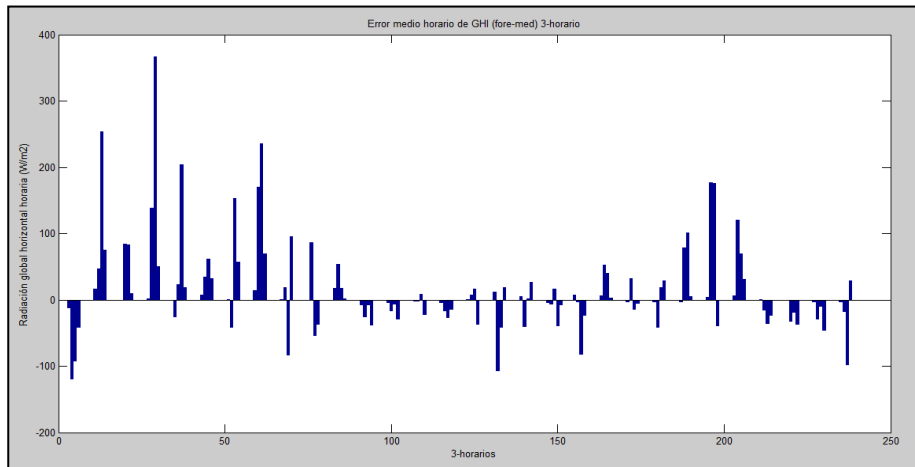
Para el mes de Noviembre se van a representar la mismas gráficas que fueron representadas en el mes de Octubre.



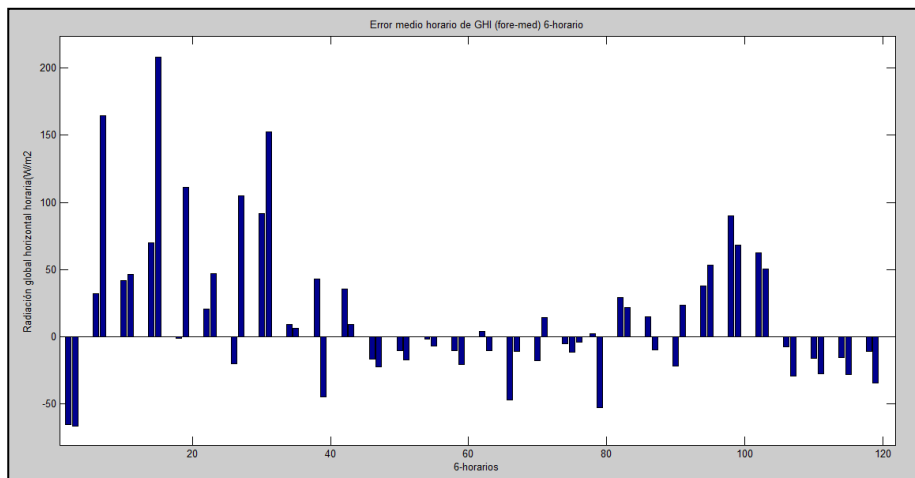
**Ilustración 48. Representación cinco-minutal del mes de Noviembre.**



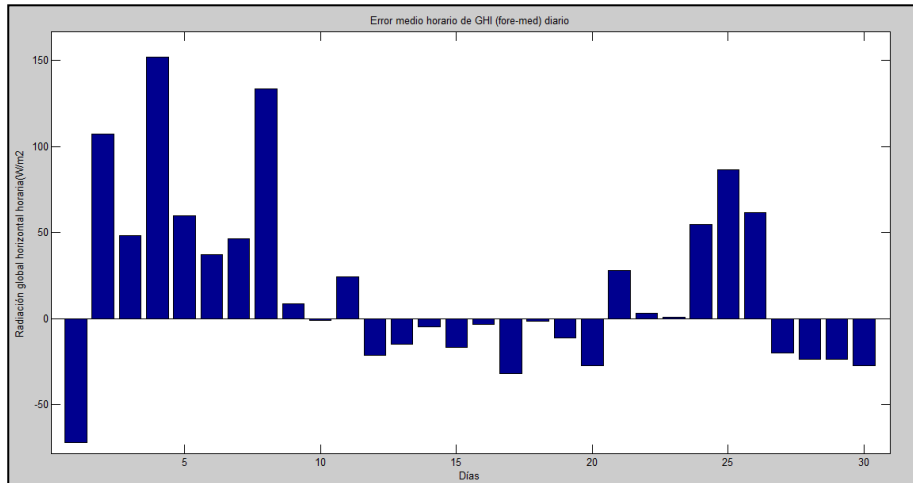
**Ilustración 49. Representación del error horario del mes de Noviembre.**



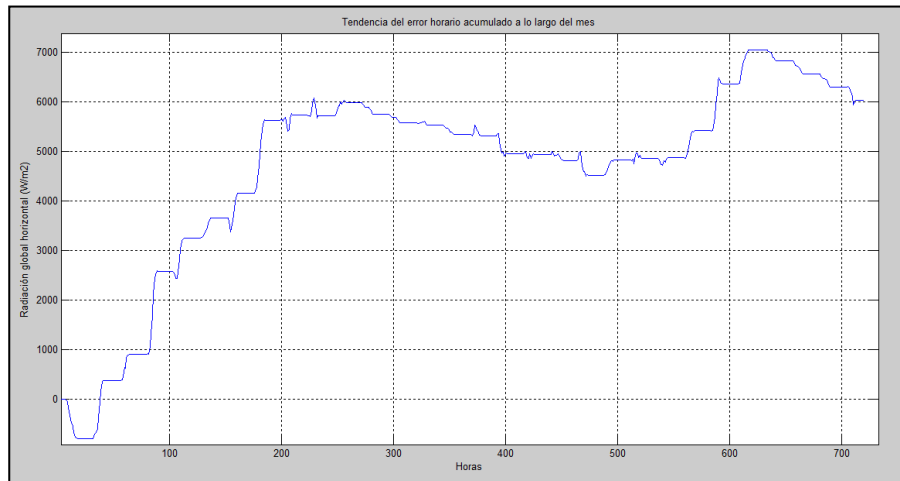
**Ilustración 50. Representación del error 3-horario del mes de Noviembre.**



**Ilustración 51. Representación del error 6-horario del mes de Noviembre.**



**Ilustración 52. Representación del error diario del mes de Noviembre.**



**Ilustración 53. Representación de la tendencia del error acumulado en el mes de Noviembre.**

En el caso del mes de Noviembre se ve en la tendencia del error horario acumulado y en las representaciones de los errores, como la predicción es siempre más optimista que la radiación que finalmente se tiene, es decir, se tienen errores positivos. Exceptuando en los días claros, en los cuáles el error predominante es negativo (lo mismo sucedía en el mes de Octubre) con errores horarios de menos de  $-40\text{W}/\text{m}^2$  y con errores medios horarios a lo largo del día de menos de  $-20\text{W}/\text{m}^2$ .

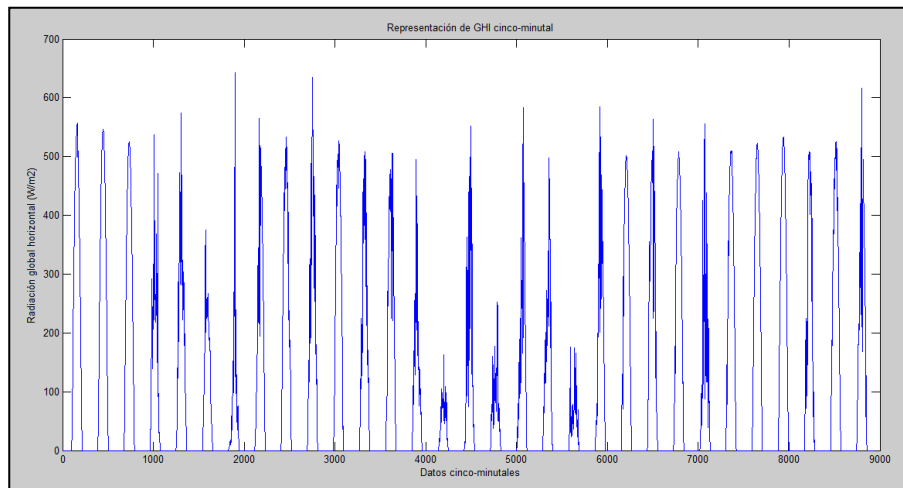
Sin embargo tal y como se comento anteriormente en los días con nubes, los errores son muy grandes, llegando en este caso a alcanzar los  $450\text{ W}/\text{m}^2$  en los valores horarios.

Como conclusión en este mes se podría decir que los errores son muy parecidos al mes de Octubre en los días claros, pero no así en los días nublados.

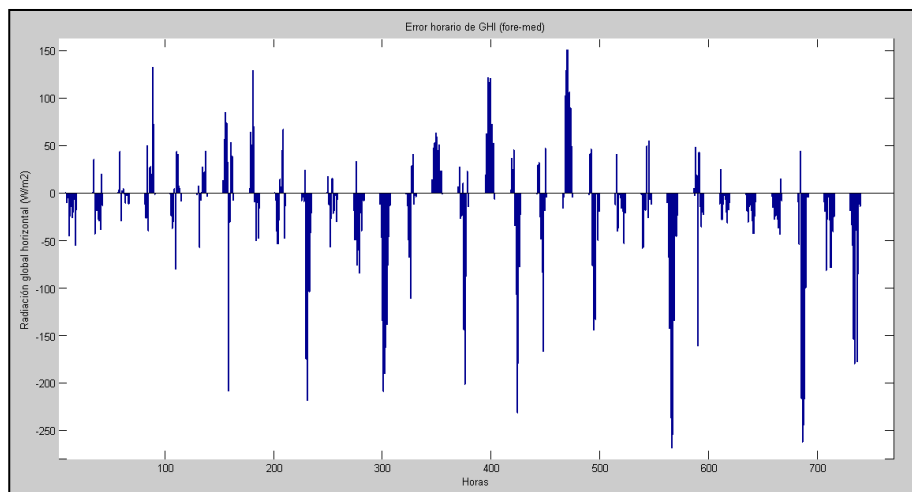
Vista la poca utilidad que se le da a las representaciones de los errores 3 horarios y 6-horarios a estas alturas de proyecto (en un futuro podrían llegar a ser de utilidad si se intentase dividir los días en franjas e intentar hacer cálculos con el almacenamiento, etc.), se ha decidido no seguir incluyéndolas en este documento.

**Diciembre de 2012**

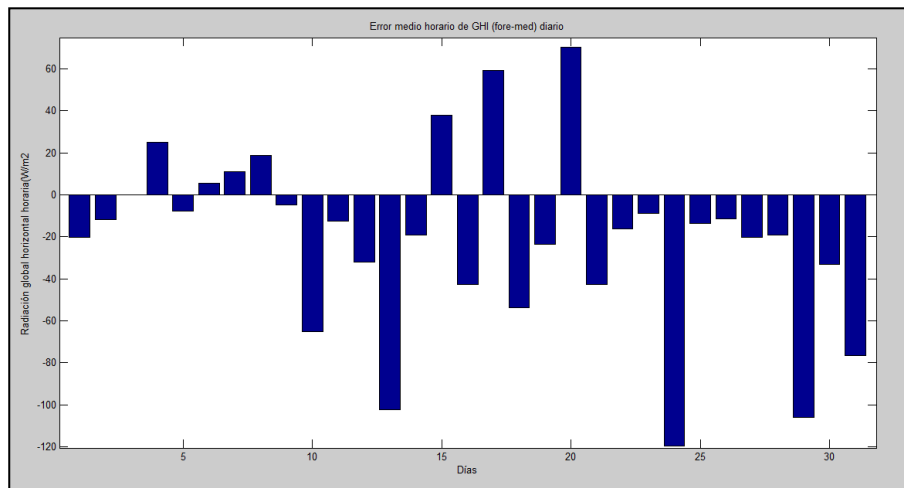
A continuación se continúa representando el mes de Diciembre.



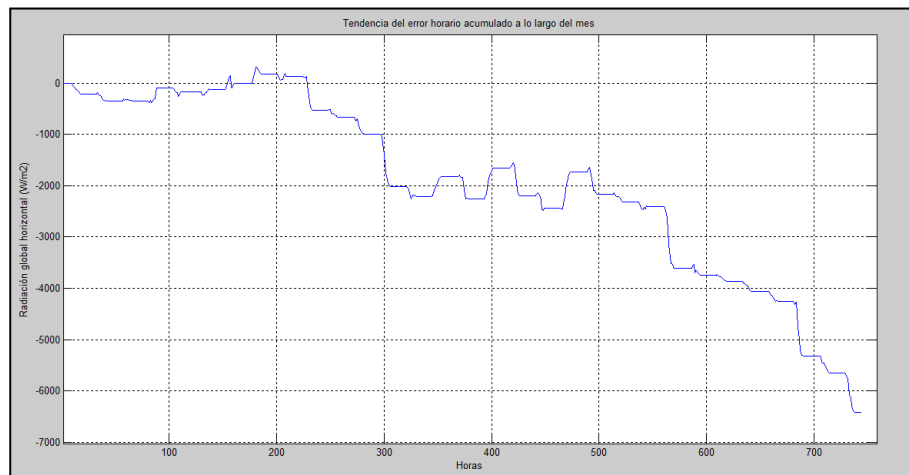
**Ilustración 54. Representación cinco-minutal del mes de Diciembre.**



**Ilustración 55. Representación del error horario del mes de Diciembre.**



**Ilustración 56.** Representación del error diario del mes de Diciembre.



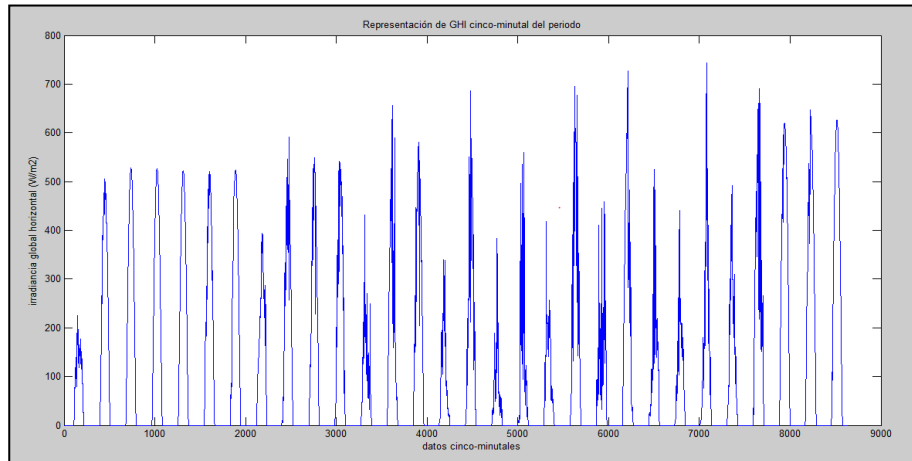
**Ilustración 57.** Representación de la tendencia del error acumulado en el mes de Diciembre.

Visto que en el mes de Diciembre nos encontramos con tan solo con 3 días claros al comienzo y dos prácticamente al final se podría decir que se sigue cumpliendo que en días claros, el error horario medio a lo largo del día es negativo y con valores que no llegan a los  $-20 \text{ W/m}^2$ . (aunque hay que tener en cuenta que estos valores son menores que en meses anteriores puesto que la radiación en el mes de Diciembre es menor que en otros meses).

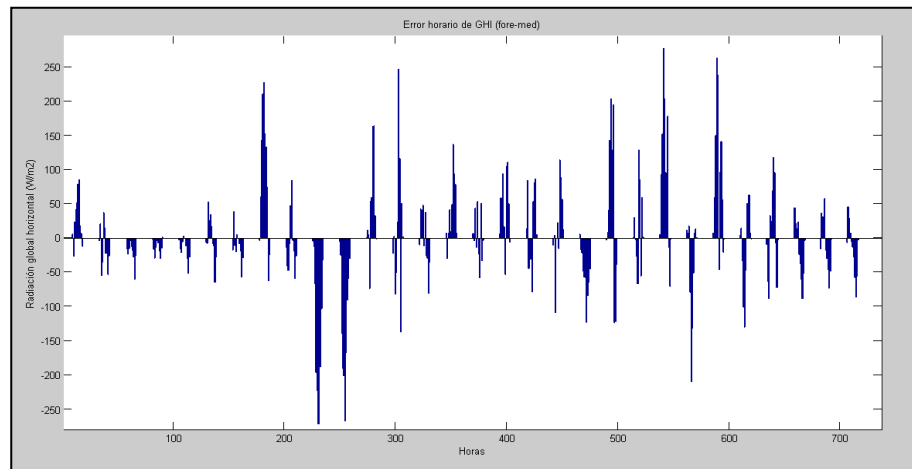
En líneas generales, a diferencia del mes de Noviembre, el error que se comete al predecir en días nublados es negativo, con un par de excepciones de días muy nublados (los más nublados del mes) en lo que se tienen errores positivos, es decir, la predicción está por encima de la real y medida.

**Enero de 2013**

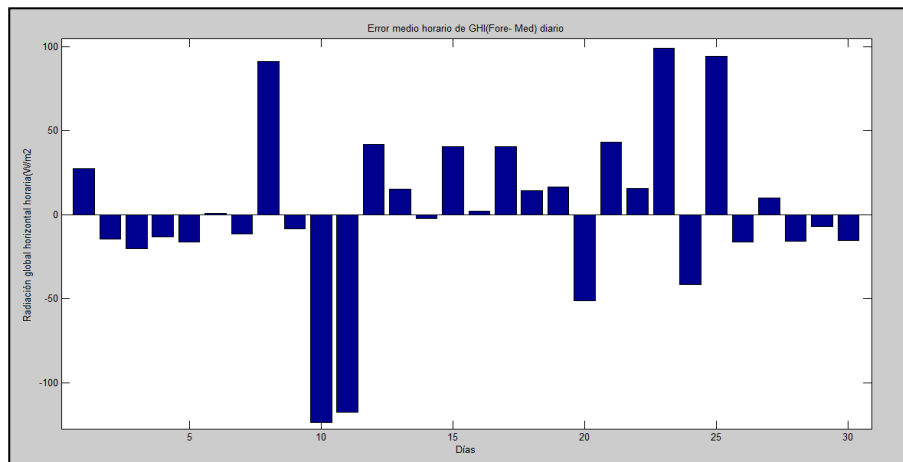
A continuación se continúa con el mes de Enero, se puede ver q se trata de un mes de invierno en la representación cinco-minutal, ya que del día 2 al 7 se trata de días claros con valores de radiación en la mitad del día que justo superan los 500 W/m<sup>2</sup>.



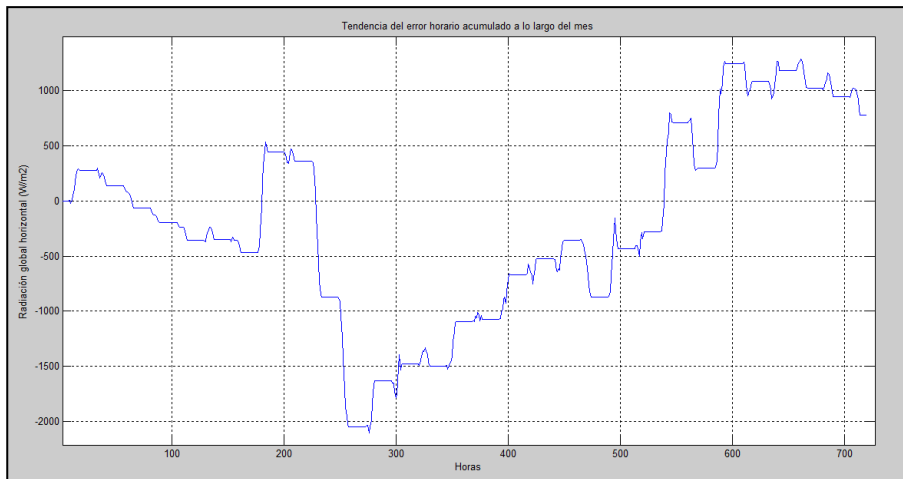
**Ilustración 58. Representación cinco-minutal del mes de Enero.**



**Ilustración 59. Representación del error horario del mes de Enero.**

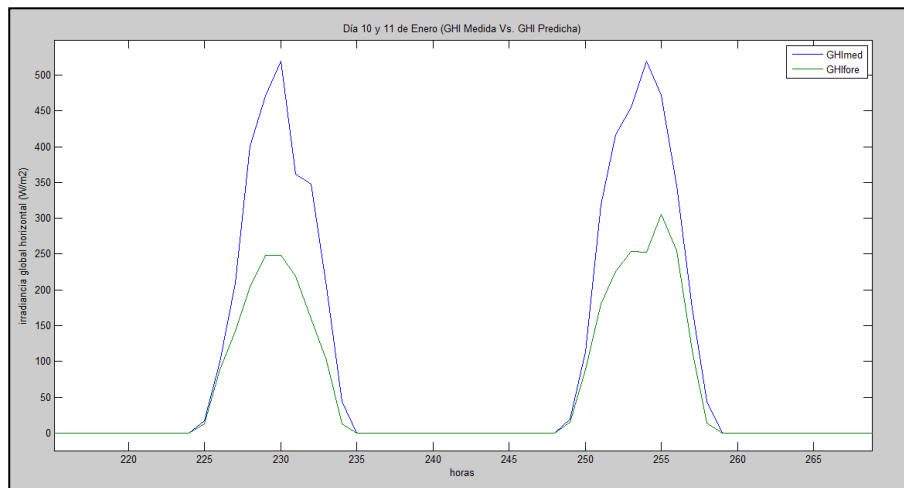


**Ilustración 60. Representación del error diario del mes de Enero.**



**Ilustración 61. Representación de la tendencia del error acumulado en el mes de Enero.**

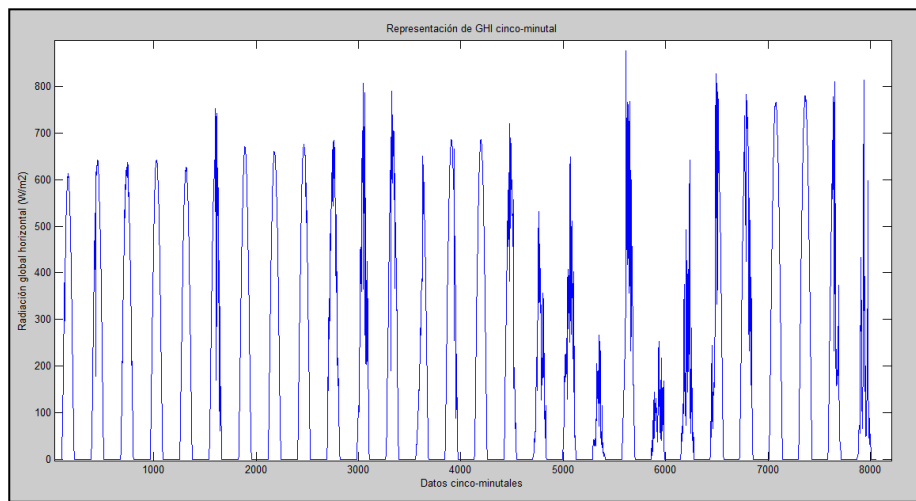
En el mes de Enero la tendencia del error acumulado a lo largo de los días se podría decir que es positiva (la predicción es mayor a la radiación medida), a excepción de cómo ocurría en los anteriores meses en los días claros, que el error es negativo (con valores del error horario que no llegan a los  $-50 \text{ W/m}^2$  y con errores horarios medios a lo largo del día de  $-20 \text{ W/m}^2$ ) y también a excepción de los días 10 y 11 de Enero en los cuales la predicción se equivoca de forma muy clara prediciendo dos días muy nublados que finalmente fueron “claros” (con alguna nube suelta) cometiendo así un error muy grande. Estos días se muestran a continuación.



**Ilustración 62.** Representación del día 10 y 11 de Enero. Radiación medida frente a predicha.

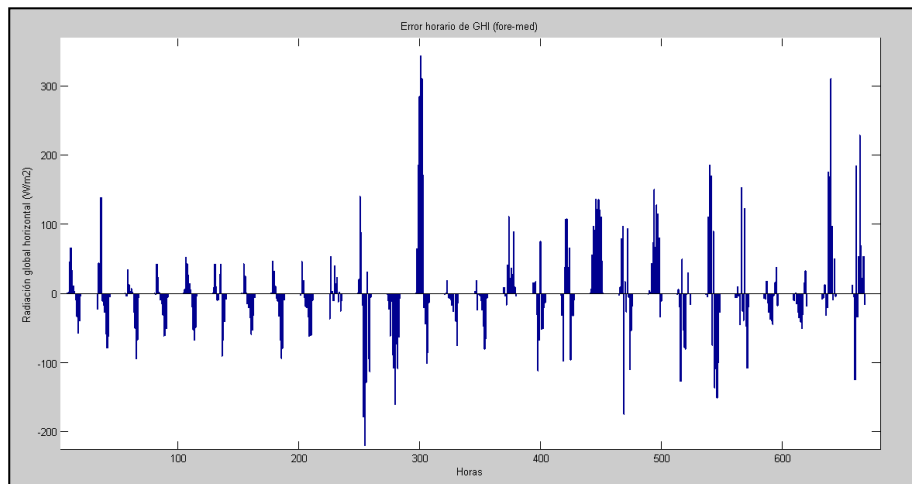
**Febrero de 2013**

A continuación se continúa representando el mes de Febrero.

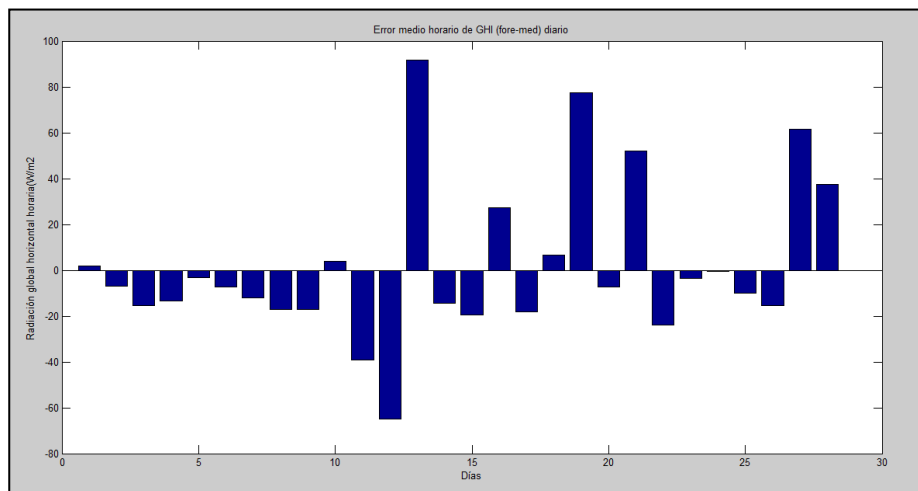


**Ilustración 63.** Representación cinco-minutal del mes de Febrero.

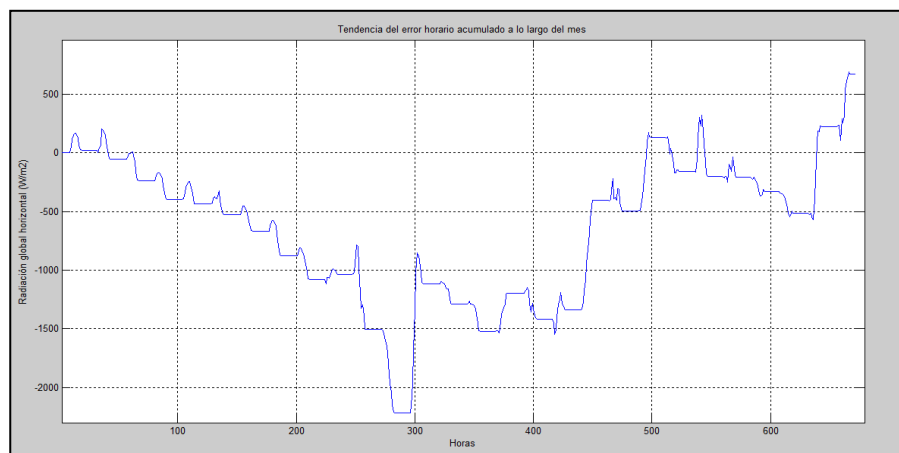




**Ilustración 64. Representación del error horario del mes de Febrero.**



**Ilustración 65. Representación del error diario del mes de Febrero.**



**Ilustración 66. Representación de la tendencia del error acumulado en el mes de Febrero.**

La tendencia general del error horario acumulado a lo largo del periodo se podría decir que es la misma que se ha tenido en los anteriores meses, negativa en días claros (los cuales se encuentran al comienzo del mes) y ascendente (positiva) en días nublados, los cuales predominan en la segunda parte de día.

En los días claros, se puede apreciar como en la primera parte del día, el error que se tiene es positivo, mientras que en la segunda parte del día este es negativo, esto parece que es debido a un pequeño problema de ajuste entre la radiación medida y la predicha. A continuación se muestran estos días de forma más detallada.

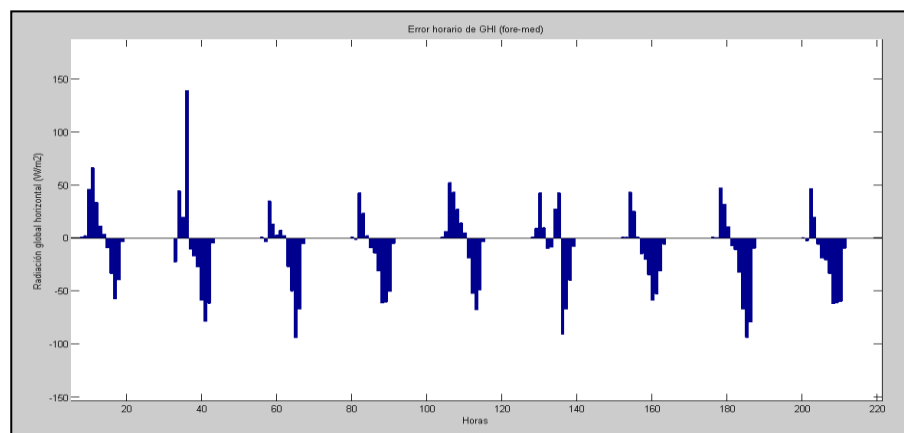
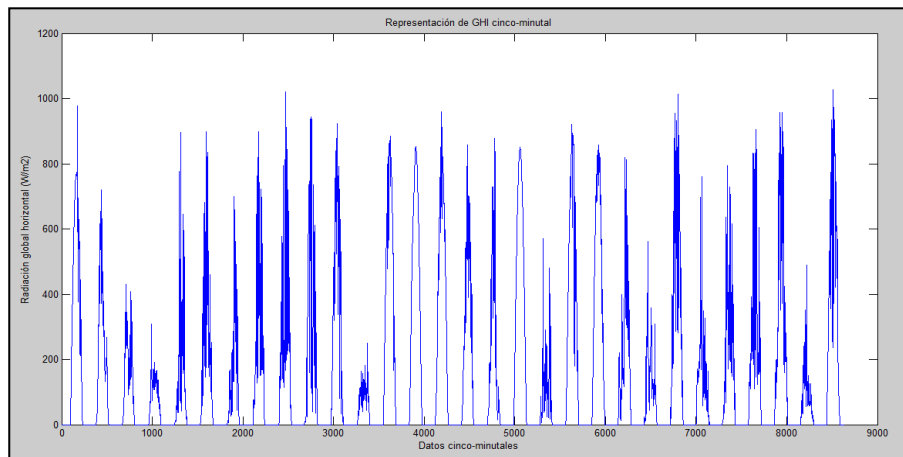


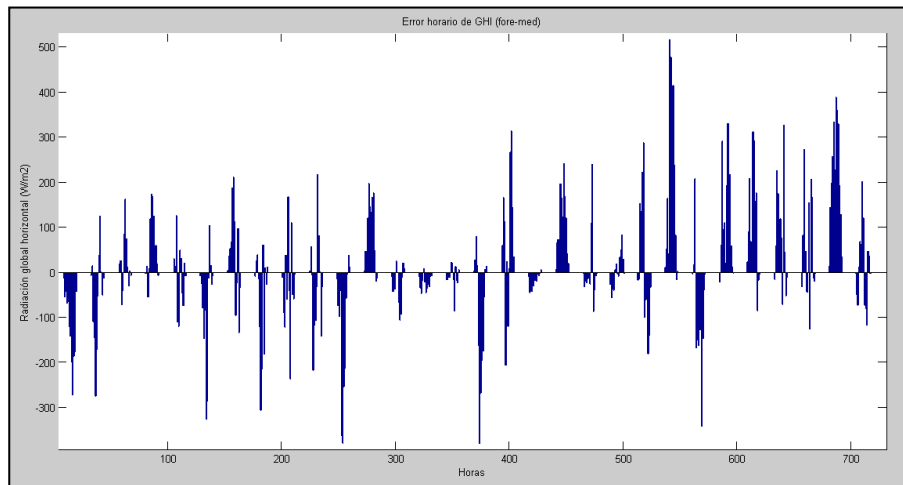
Ilustración 67. Representación del error horario para los primeros días de Febrero.

### Marzo de 2013

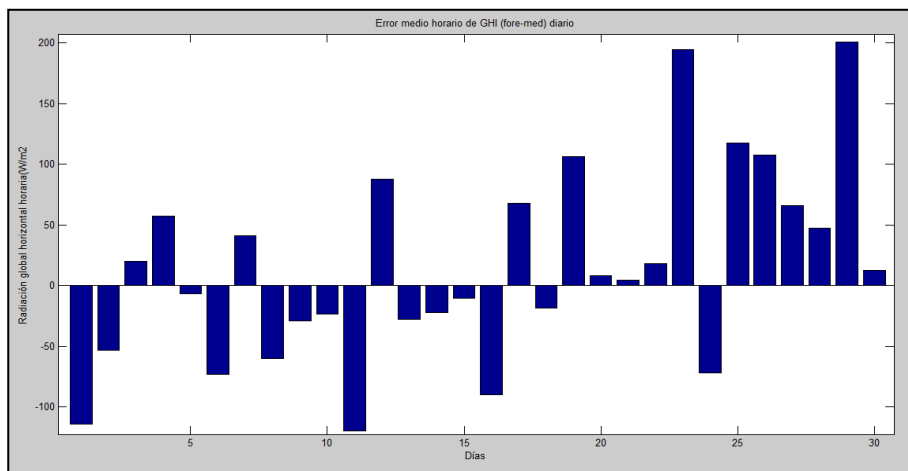
Se continúa representando el mes de Marzo que como se puede ver en los datos 5-minutales, se trata de un mes en que los días nublados son sus mayorías.



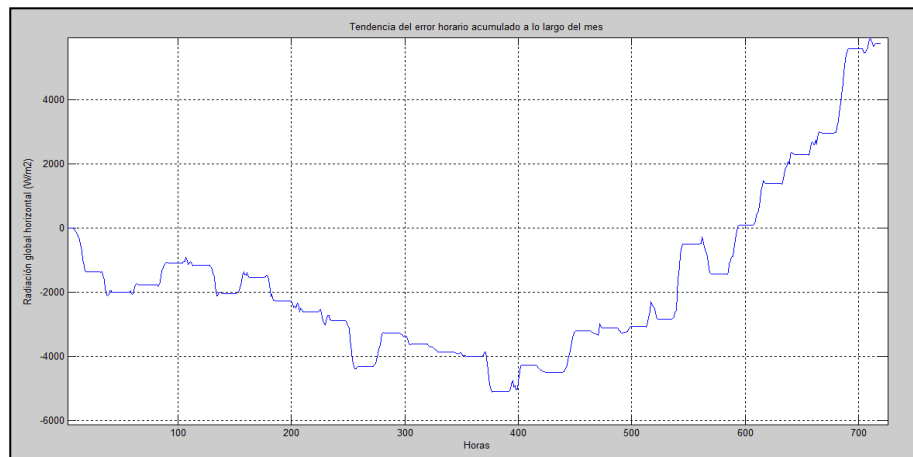
**Ilustración 68. Representación cinco-minutal del mes de Marzo.**



**Ilustración 69. Representación del error horario del mes de Marzo.**



**Ilustración 70. Representación del error diario del mes de Marzo.**



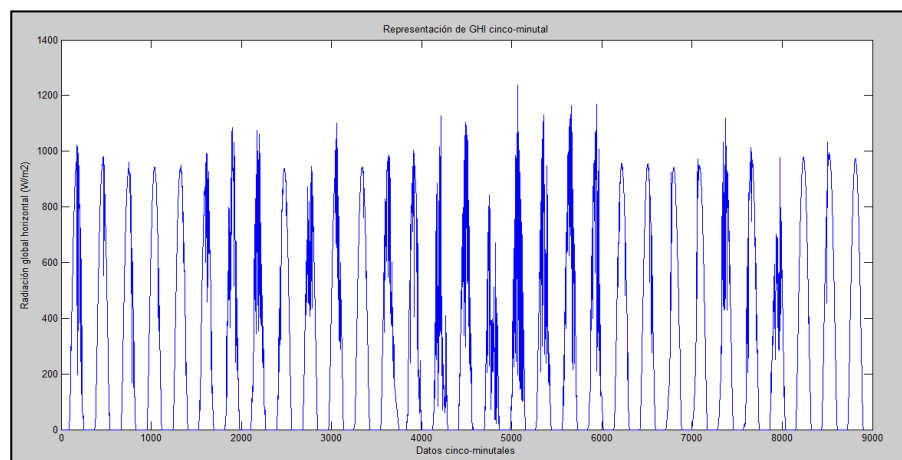
**Ilustración 71. Representación de la tendencia del error acumulado en el mes de Marzo.**

Debido a que la gran mayoría de los días en el mes de Marzo son nublados se podía esperar una tendencia del error horario muy variable como es la que se tiene, en una primera mitad del mes con errores negativos y en la segunda con valores positivos.

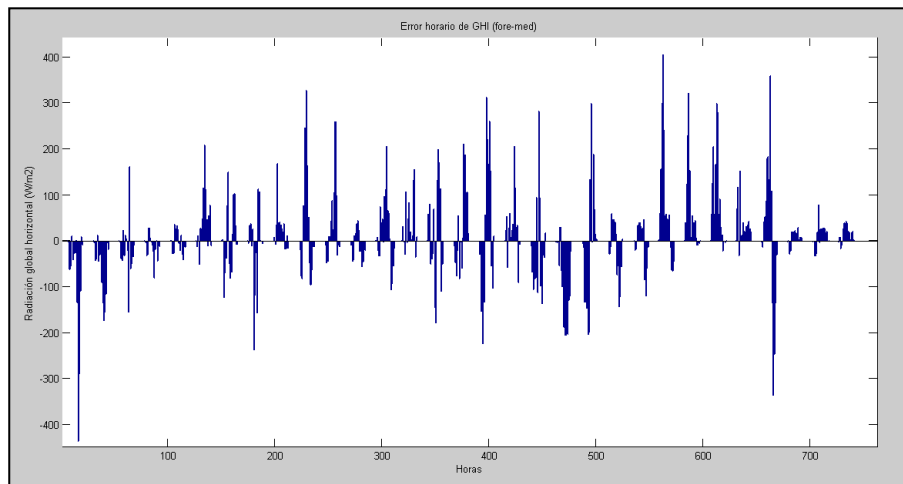
Tanto los errores medios horarios a lo largo del día como los errores horarios puntuales de los que se disponen, son bastante elevados, con lo que se podría decir que las predicciones en días con tantas nubes y claros como es el mes de Marzo no son muy fiables.

### Mayo de 2013

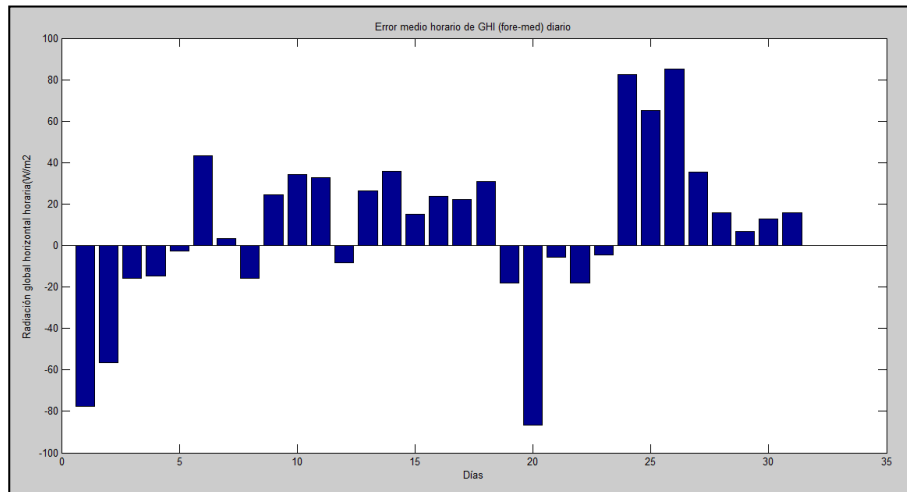
En el mes de Mayo al igual que en el de Marzo y Abril, se tienen bastantes días nublados en los cuales las predicciones serán complicadas, a continuación se muestran las distintas representaciones.



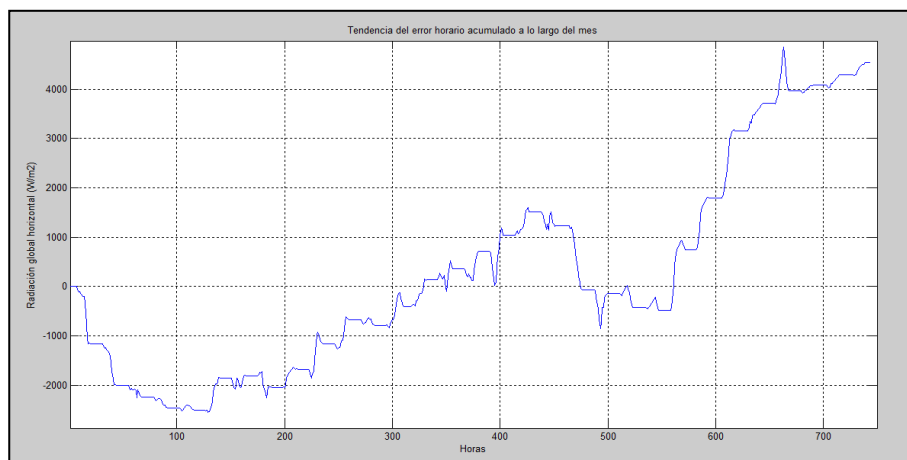
**Ilustración 72. Representación cinco-minutal del mes de Mayo.**



**Ilustración 73. Representación del error horario del mes de Mayo.**



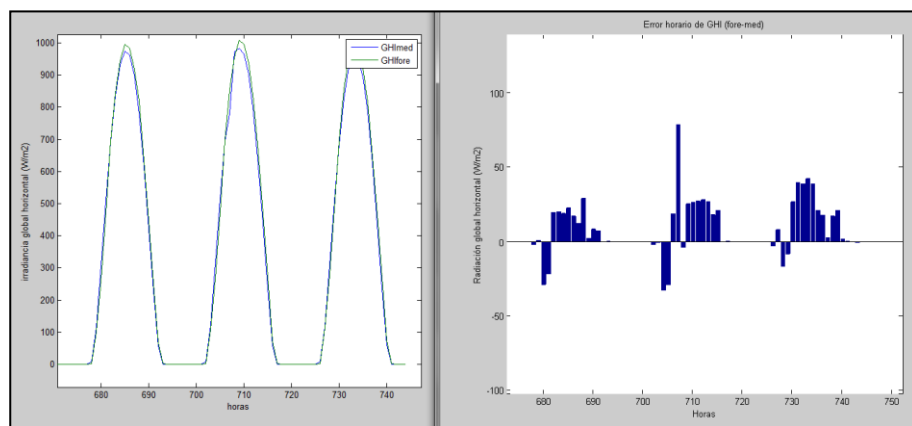
**Ilustración 74. Representación del error diario del mes de Mayo.**



**Ilustración 75. Representación de la tendencia del error acumulado en el mes de Mayo.**

Vista la tendencia del error horario acumulado, se puede decir que esta es mayormente positiva aunque se tenga los primeros días del mes en los cuales las predicciones se hayan quedado por debajo de la radiación medida.

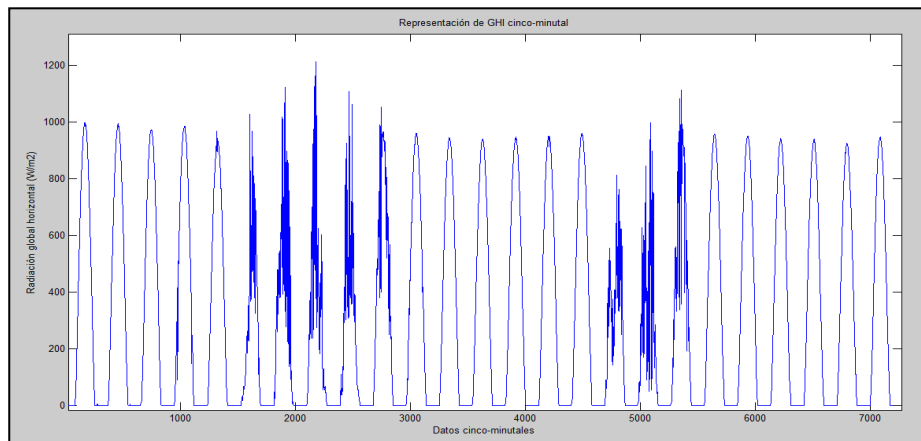
Si se habla de los días claros, que son aquellos en los cuales se tiene mayor esperanza (vista la diversidad de los errores y el tamaño del error que se cometen en días nublados), hay que decir que a diferencia de los meses de invierno, el error que se está cometiendo aquí es positivo. A continuación se muestran los tres últimos días del mes de Mayo (días claros en los que se ve lo anteriormente mencionado).



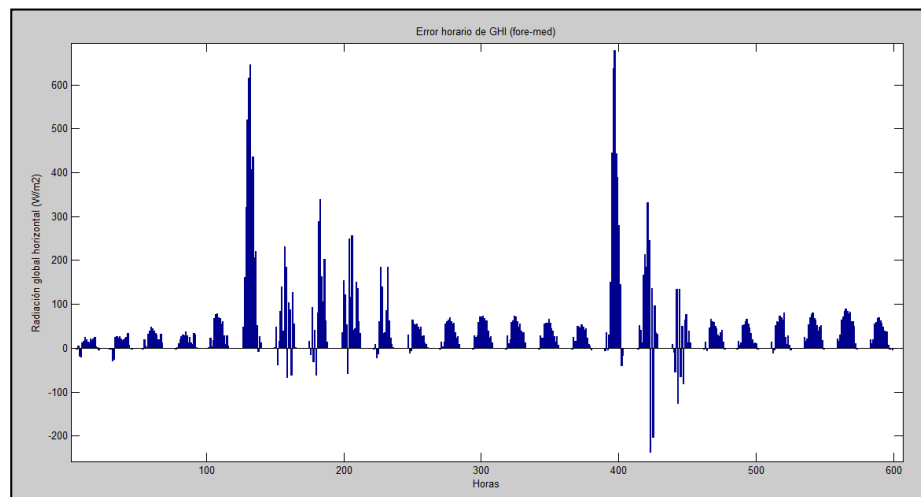
**Ilustración 76. Representación del error horario y de la GHI medida y predicha para el 29, 30, 31 de Mayo.**

### **Junio de 2013**

A continuación se representa el mes de Junio al cual le faltan los días 20,21,22,23 y 24, tal y como se explicó en el apartado del análisis de la situación de los datos. Como se puede apreciar en la representación 5-minutal de este mes, los días claros predominan sobre los nublados.

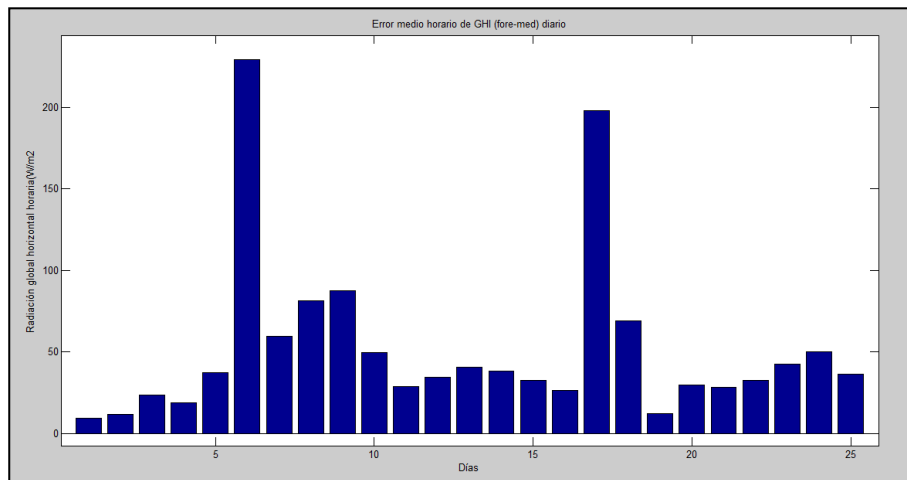


**Ilustración 77. Representación cinco-minutal del mes de Junio.**

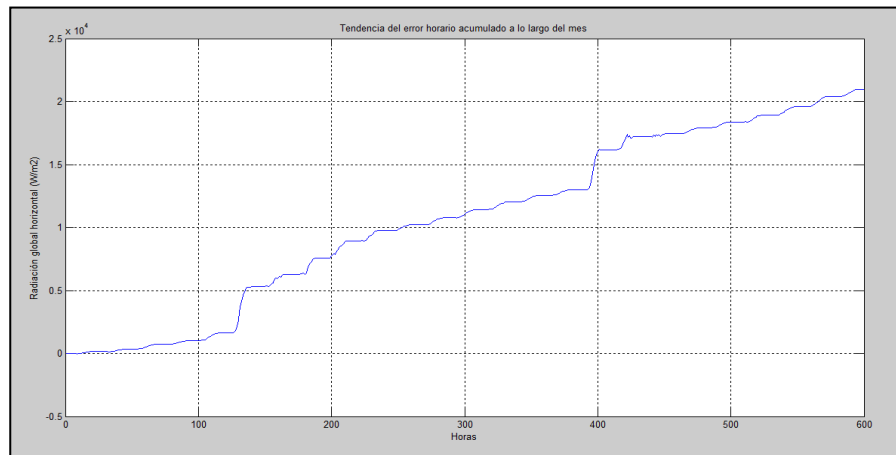


**Ilustración 78. Representación del error horario del mes de Junio.**

Viendo el error horario se aprecia con claridad cuáles son los días nublados y cuáles son los días claros.



**Ilustración 79.** Representación del error diario del mes de Junio.



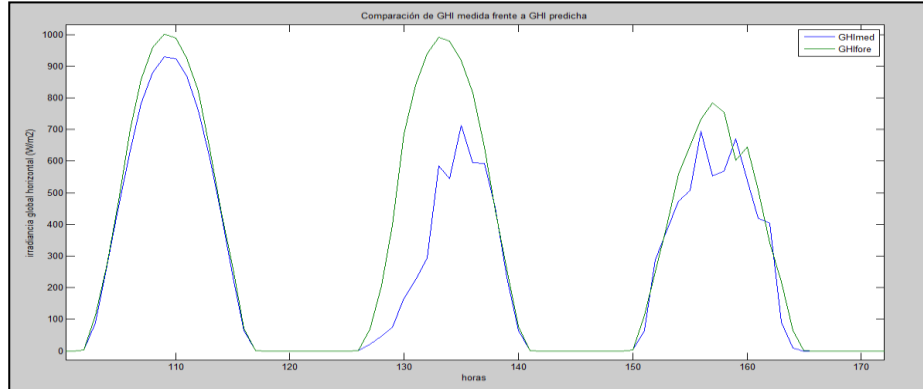
**Ilustración 80.** Representación de la tendencia del error acumulado en el mes de Junio.

La tendencia del error horario se ve claramente que es de carácter positivo, esto es debido en gran medida a lo que también se comentaba en el mes de Mayo, y es que en los días claros el error que se comete es positivo, con valores en el error horario que no alcanzan los 100 W/m<sup>2</sup>. Los errores cometidos en meses de invierno en días claros eran bastante más pequeños que los que se cometen en meses de verano, por lo que se podría decir que estos aumentan proporcionalmente con la radiación que se tiene.

Comentar que se tienen dos días en los que el error es muy grande puesto que tras venir de una concatenación de días claros, al presentarse un día con nubes, la predicción no lo detecta y predice como si fuese un día claro más, cometiendo de esta manera errores medios horarios en el día de casi 250 W/m<sup>2</sup> y errores horarios de 600 W/m<sup>2</sup>. A continuación se

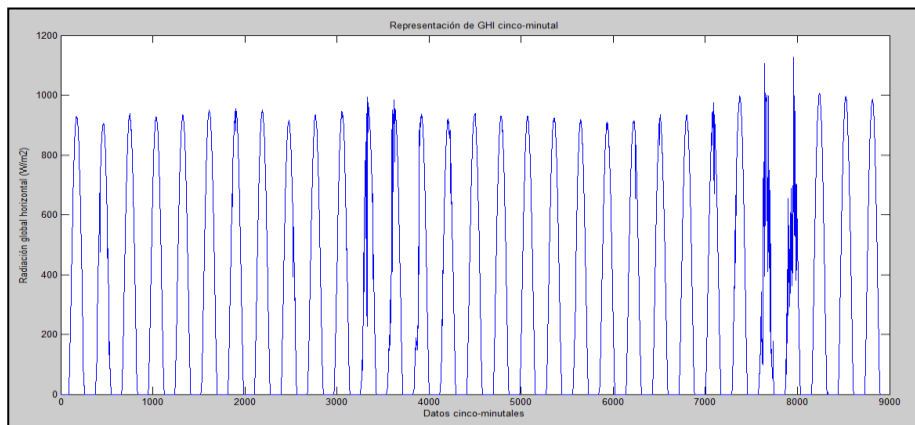


muestra el día 6 de Junio en el cual se da el caso comentado anteriormente. Ver también como en el tercer día ya se corrige el error.

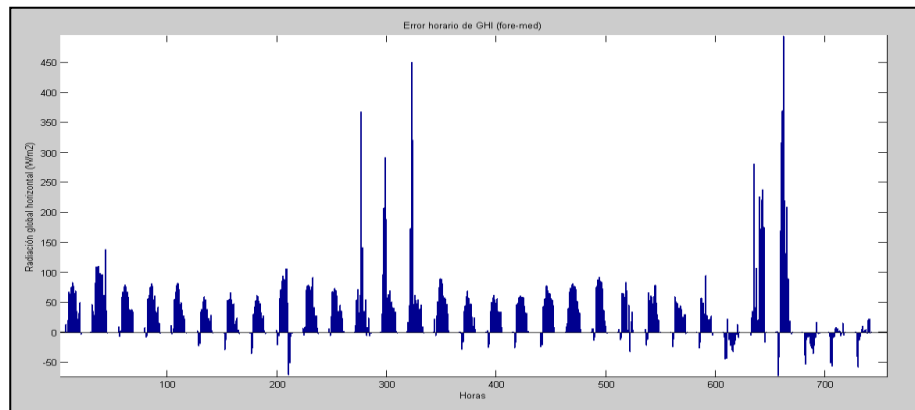


**Ilustración 81. Representación de GHI medida frente a predicha de los días 6,7 y 8 de Junio.**

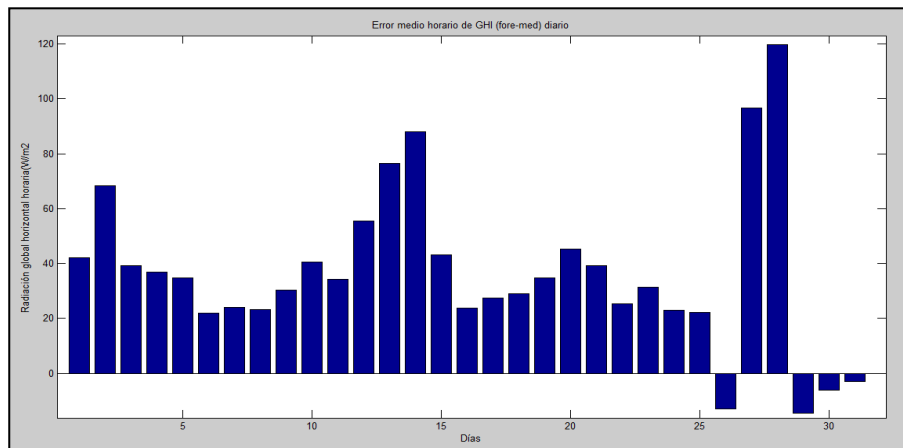
### Julio de 2013



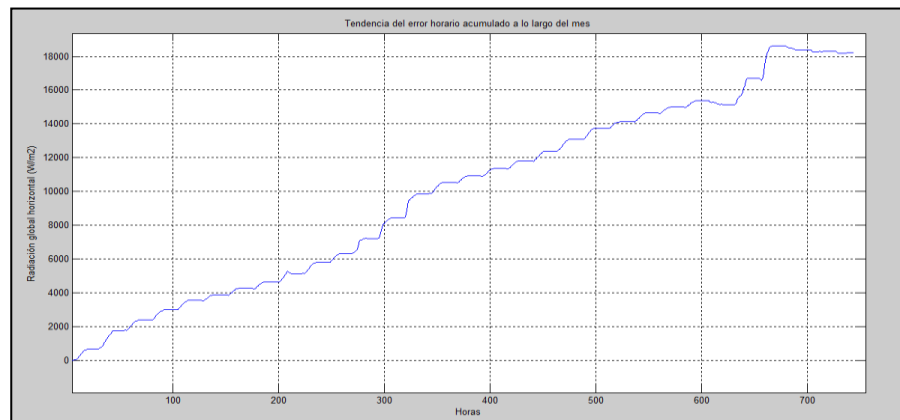
**Ilustración 82. Representación cinco-minutal del mes de Julio.**



**Ilustración 83. Representación del error horario del mes de Julio.**



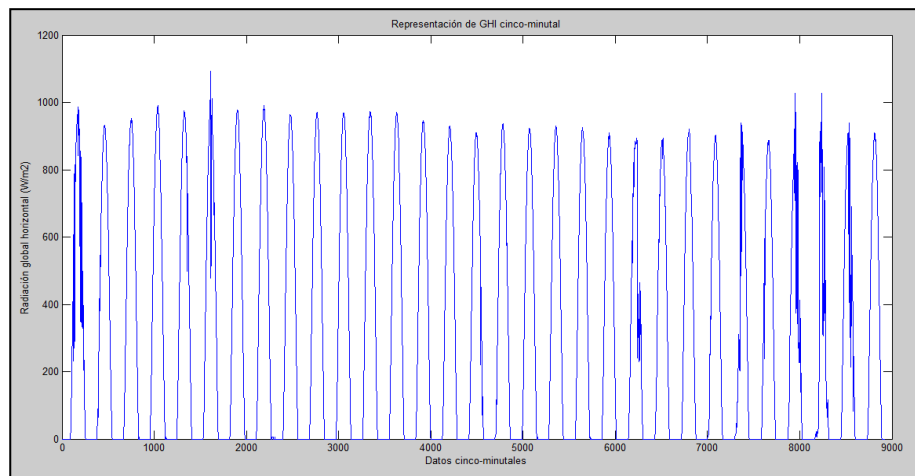
**Ilustración 84. Representación del error diario del mes de Julio.**



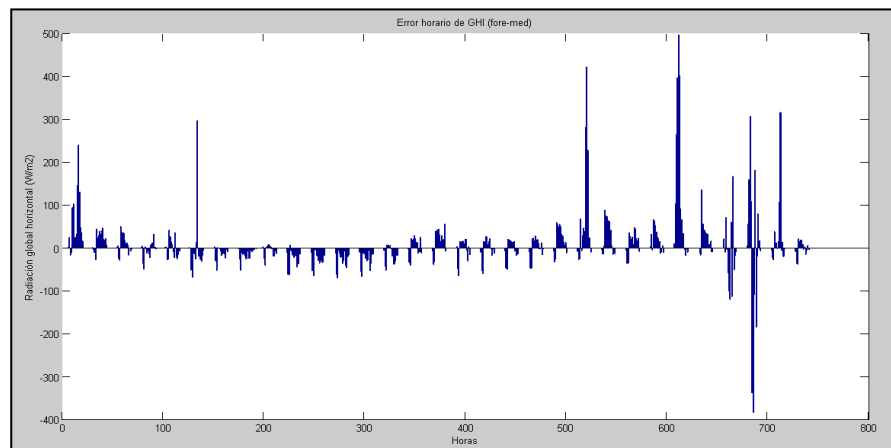
**Ilustración 85. Representación de la tendencia del error acumulado en el mes de Julio.**

El mes de Julio se comporta exactamente igual que el mes de Junio, posee una tendencia del error horario acumulado positiva con días claros en los que las predicciones son más optimistas que las mediciones y en días con nubes en los que no se aciertan las predicciones, con errores medios horarios positivos de +120 W/m<sup>2</sup>.

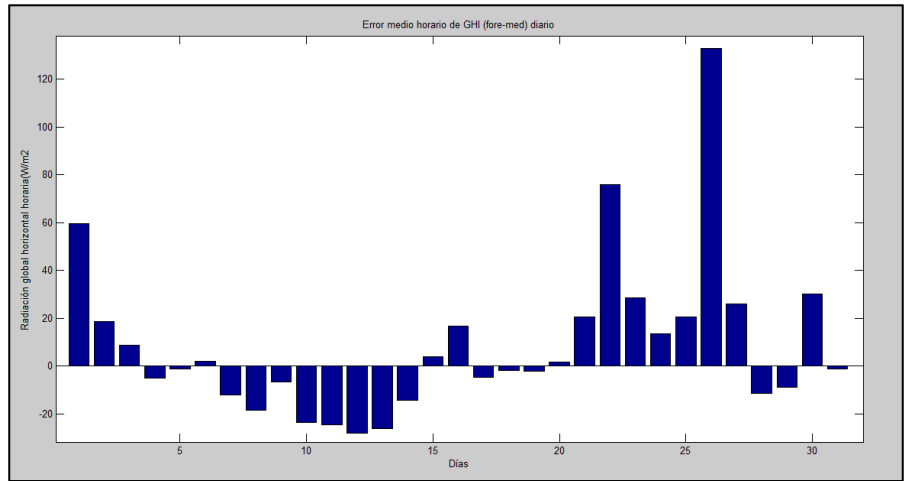
**Agosto de 2013**



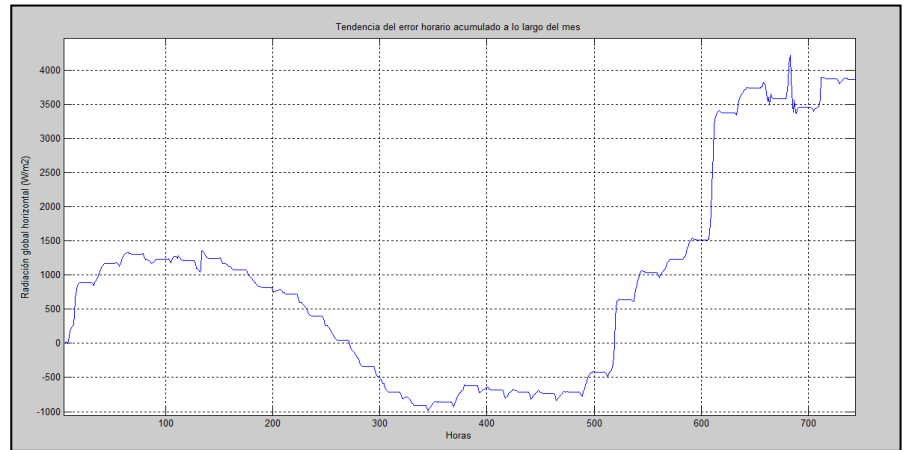
**Ilustración 86. Representación cinco-minutal del mes de Agosto.**



**Ilustración 87. Representación del error horario del mes de Agosto.**



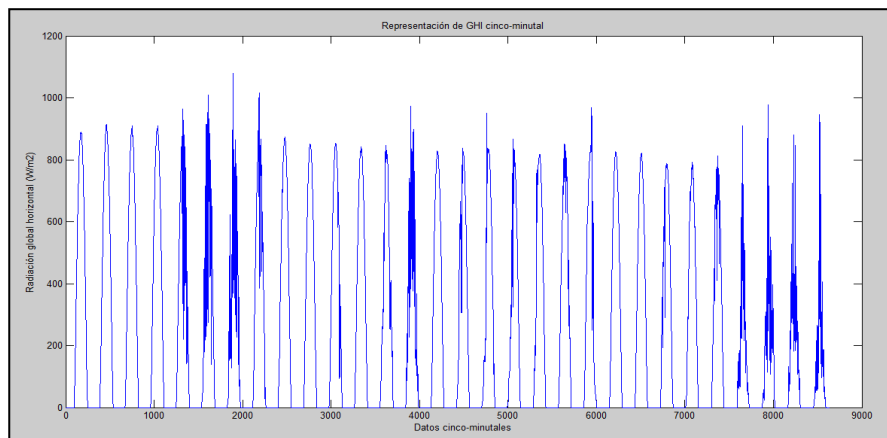
**Ilustración 88. Representación del error diario del mes de Agosto.**



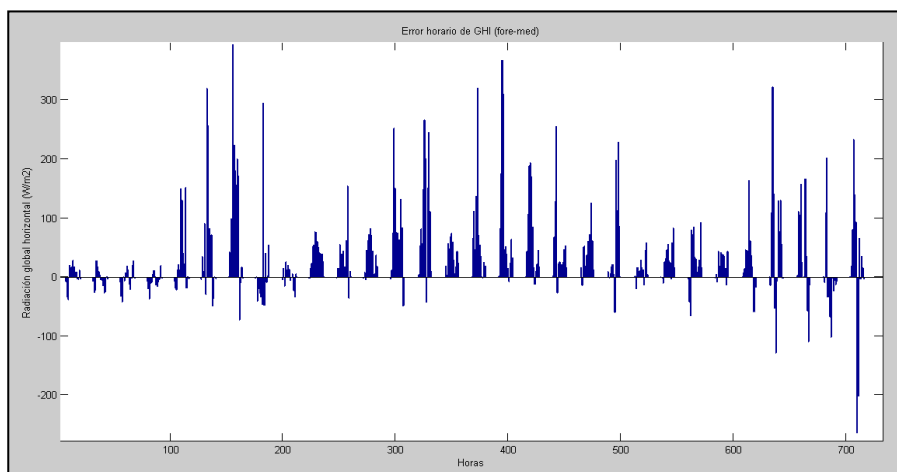
**Ilustración 89. Representación de la tendencia del error acumulado en el mes de Agosto.**

La tendencia del error horario acumulado a lo largo del mes de Agosto es muy variable. Como conclusiones en las predicciones de este mes se podría decir que en los días con nubes al igual que en meses anteriores, las predicciones son más optimistas que la radiación que realmente se tiene y que en los días claros, que son la mayoría, a diferencia de lo que ocurría en los meses de verano (Junio y Julio), el error que se comete es principalmente negativo.

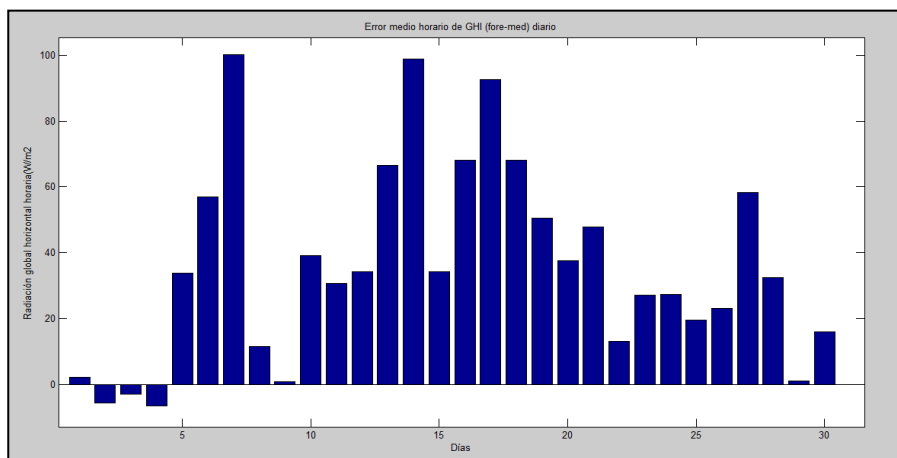
**Septiembre 2013**



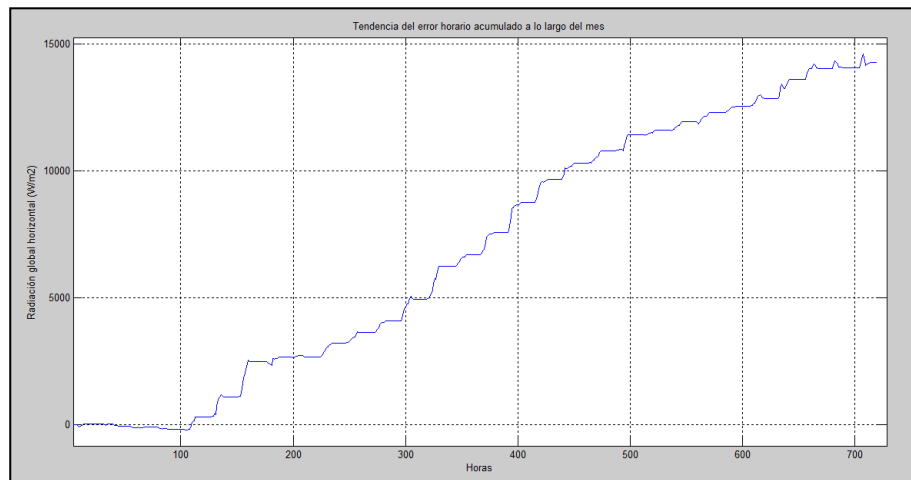
**Ilustración 90. Representación cinco-minutal del mes de Septiembre.**



**Ilustración 91. Representación del error horario del mes de Septiembre.**



**Ilustración 92. Representación del error diario del mes de Septiembre.**



**Ilustración 93. Representación de la tendencia del error acumulado en el mes de Septiembre.**

La tendencia del error horario acumulado a lo largo de todo el mes de Septiembre es positiva. Al igual que ocurría en el mes de Junio, tanto en los días nublados como en los días claros, las predicciones que se tienen son siempre más optimistas que la que realmente se mide.

### 3.4.1 Conclusiones de las representaciones mensuales

Una vez finalizada la representación de los distintos errores en las predicciones a lo largo de todos los meses disponibles, se puede concluir lo siguiente:

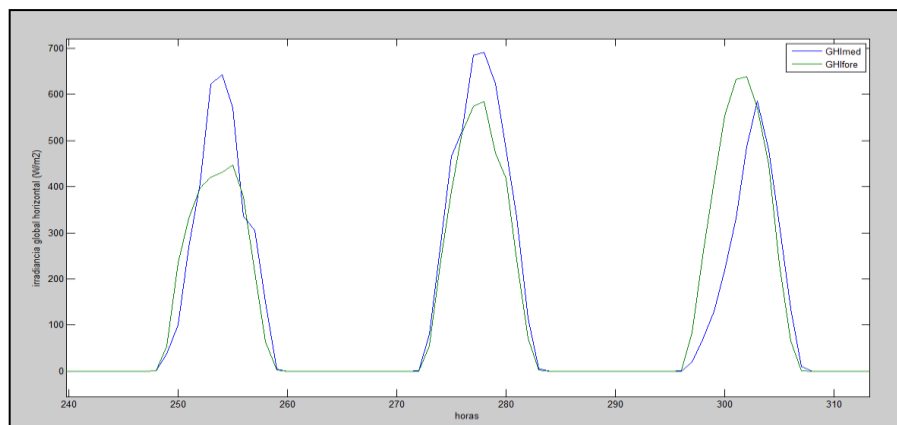
- A continuación se muestra una tabla resumen, de los errores horarios máximos, mínimos y medios hora a hora y diariamente (promedio horario) que se han tenido en los distintos meses.

MES	Error horario			Error diario		
	Mínima	Máxima	Media	Mínima	Máxima	Media
octubre-12	-414,18	504,12	4,34	-104,75	164,56	5,08
noviembre-12	-191,31	456,35	18,25	-71,99	151,85	8,35
diciembre-12	-267,96	150,75	-20,28	-119,62	70,23	-20,51
enero-13	-271,26	277,38	2,48	-123,7	99	2,65
febrero-13	-219,18	344,17	2,01	-64,84	91,83	1,79
marzo-13	-378,92	517,25	15,35	-119,62	201,204	14,6
abril-13	-291,56	442	16,26	-78,66	180,31	16,26
mayo-13	-435,47	404,86	9,51	-86,58	85,11	9,26
junio-13	-237,37	678,41	50,05	9,73	229,3	52,45
julio-13	-72,35	493,92	36,7	-14,62	119,86	36,8
agosto-13	-382,65	495,99	8,62	-28,12	132,73	8,71
septiembre-13	-263,8	393,5	35,52	-6,475	100,09	35,94

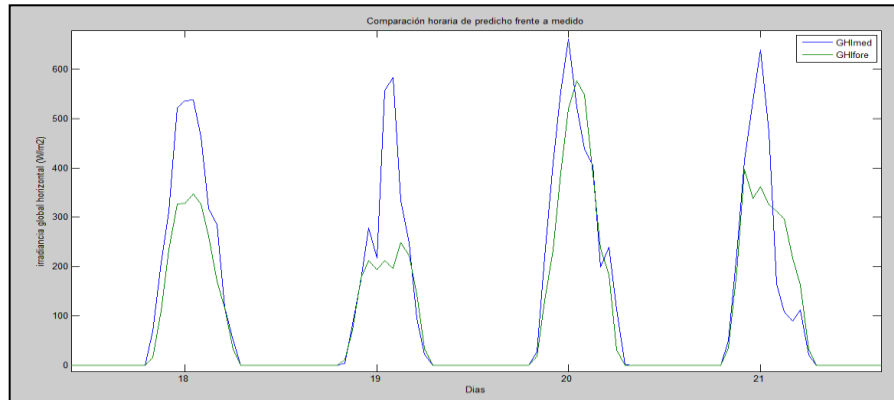
**Tabla 2. Errores horarios de los meses.**

En la tabla se ve como en meses de verano, que se podría decir que son los más sencillos de predecir por la cantidad de días claros que se tienen, es donde los errores horarios son los más grandes, y no solo los máximos y mínimos sino que los promedios horarios también, por lo que quiere decir que en días consecutivos claros tampoco se termina de acertar en las predicciones. Aunque aquí todo esto se podría excusar diciendo que el error cometido es proporcional al valor de radiación medido (habría que discutirlo).

- Se ha visto que en días nublados el error que se tiene en las predicciones es muy diverso, aunque como norma general se podría decir que en días nublados o con sol y nubes, el error que se comete es positivo, es decir, la predicción es más optimista que la radiación medida. Sin embargo nos encontramos con excepciones que tiran por la borda las conclusiones sacadas y son aquellos días en los que se había predicho un día nublado y lo que realmente se tiene es un día con mayor radiación, este sería el caso del 10 y 11 de Enero, representados en dicho mes. Ocurre lo mismo con los días 18 y 19 de Octubre y 11 y 12 de Febrero, los cuales se muestran a continuación.



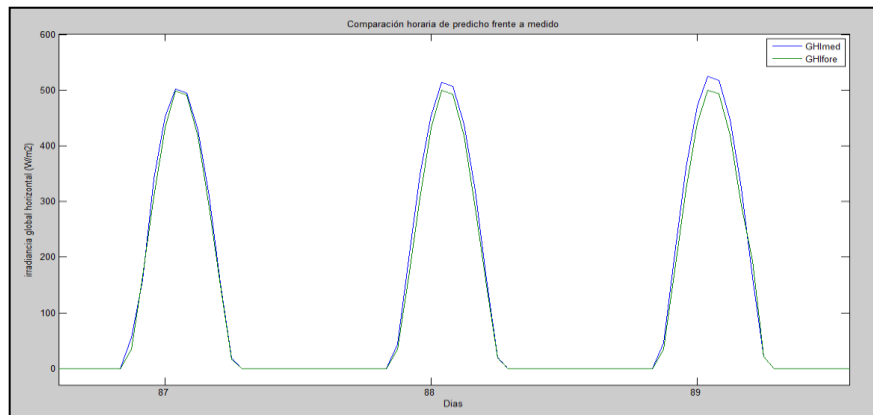
**Ilustración 94.** Representación de radiación medida y predicha para los días 11, 12 y 13 de febrero



**Ilustración 95. Representación de radiación medida y predicha para los días 18, 19, 20 y 21 de Octubre.**

Pero como se comentó anteriormente este tipo de días son muy puntuales (uno o dos días por mes).

- Como conclusiones para días claros se podría decir que en general, en días de invierno el error que se comete es negativo, es decir las predicciones se quedan un poco cortas, se muestra a continuación los días 26, 27 y 28 de Diciembre en los que ocurre lo anteriormente mencionado.



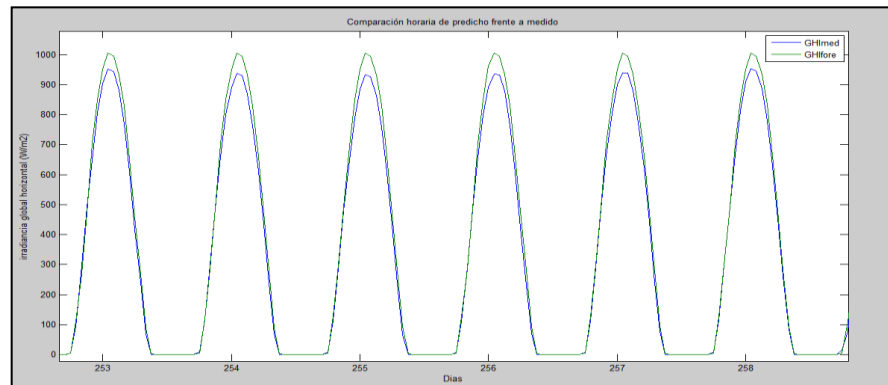
**Ilustración 96. Representación de radiación medida y predicha para los días 18, 19, 20 y 21 de Octubre.**

Por el contrario en días claros de verano el error que se tiene normalmente es positivo (las predicciones son más optimistas que la radiación medida), salvo en el mes de Agosto que se comporta de igual manera que los meses de invierno.

También decir tal y como se comento en el primer punto de las conclusiones que el error que se comete en la predicción de días claros de verano es mayor que en días claros de invierno.

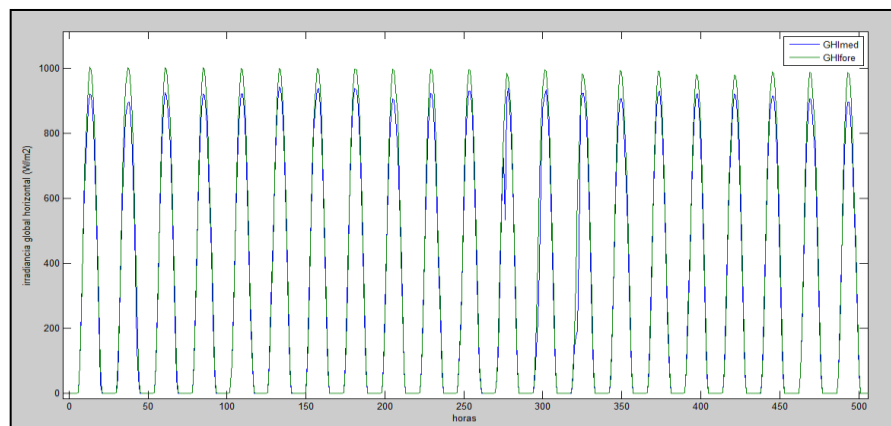


- Un punto muy importante que se detecta en días claros de verano, gracias a que la concatenación de días claros es más abundante, es que el error que se tiene en un primer día de predicción, no se corrige cuando el siguiente día también es y se predice como un día claro. Con esto se quiere decir que puesto que las predicciones se realizan cada 24 horas, si se detecta que el día anterior ha sido más optimista que la predicción, lo lógico sería reducir la predicción un poco para el día siguiente. A continuación se muestra varios días claros del mes de Junio en los cuales no se modifica la predicción a lo largo de 6 días.



**Ilustración 97. Representación de GHI predicha frente a medida desde el 11 hasta el 16 de Junio.**

Ocurre lo mismo y de manera más exagerada para el periodo que va desde el 1 hasta el 21 de Julio, es decir, prácticamente un mes entero sin corregir este error.



**Ilustración 98. Representación de GHI medida frente a predicha.**

Como conclusión final acerca de los errores en las predicciones de GHI llevadas a cabo por “Meteologica”, se podría decir que las predicciones son más generosas que lo que

realmente se tiene después, aunque hay más de una excepción que hace parecer a primera vista poco fiables las predicciones.

### 3.5 ANÁLISIS FINALES

Vista la variedad en los errores cometidos, lo que se pretende en el siguiente apartado es afinar un poco más la puntería e intentar sacar conclusiones más claras acerca de las predicciones. Para ello, además del error horario, el error diario y la tendencia (vistos en los apartados anteriores), se propone representar también los percentiles de predicción 10 y 90, y con ellos intentar ver si los días en los que se tienen grandes errores horarios, también las diferencias entre los percentiles son muy grandes, lo que querrá decir que se trata de un día en el que había mucha incertidumbre y el error es “entendible” o por el contrario no se predice esa incertidumbre. Ver explicación de percentiles en página 29 si se precisa.

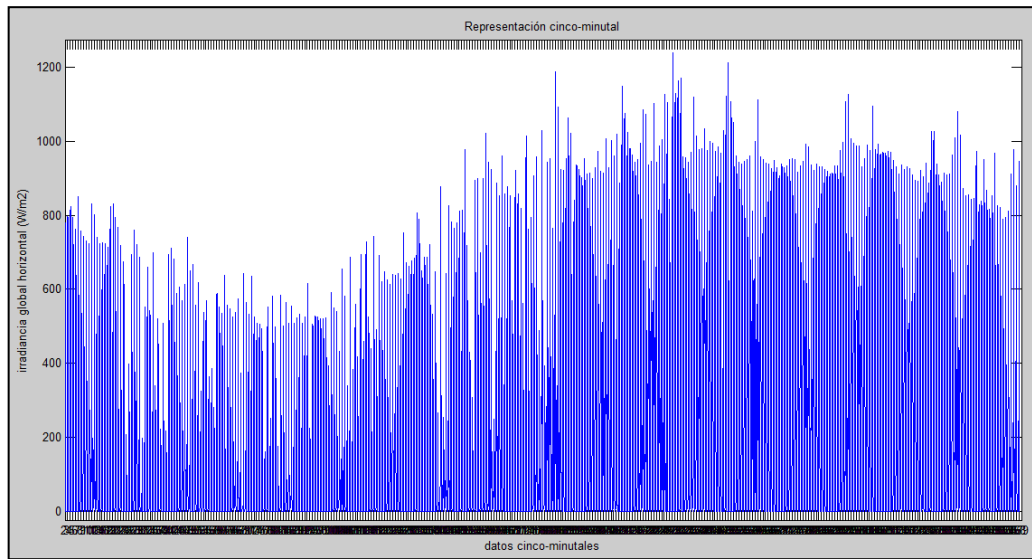
Lo que se propone además, es simular todo el año completo que se dispone conjuntamente. Debido a que se han eliminado días de la simulación por su falta o mal estado, se muestra a continuación una tabla en la cual se indica el número que cada día lleva asignado en las representaciones, viendo de esta manera a que día del mes se corresponde.

Mes	Días	Comentarios
octubre-12	1 al 31	
noviembre-12	32 al 61	
diciembre-12	62 al 92	
enero-13	93 al 122	Día 14 no se simula
febrero-13	123 al 150	
marzo-13	151 al 181	
abril-13	182 al 211	
mayo-13	212 al 242	
junio-13	243 al 267	Falta el 20, 21, 22, 23, 24
julio-13	268 al 298	
agosto-13	299 al 329	
septiembre-13	330 al 359	

Tabla 3. Resumen de días

A continuación se muestran las distintas representaciones que se han llevado a cabo en este apartado:

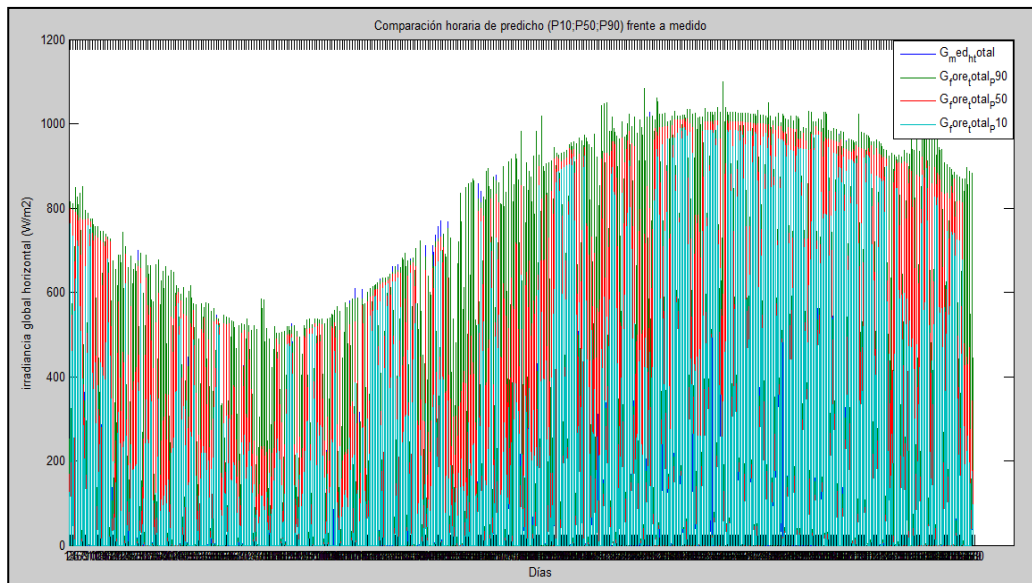
Representación cinco-minutal



**Tabla 4. Representación anual de GHI cinco-minutal medida.**

Con la representación cinco-minutal de todo el año completo se ve claramente cuál es la tendencia anual que tiene la radiación. Además de ello, también se puede ver claramente esos picos de radiación que alcanzan valores de 1200 W/m<sup>2</sup> debidos a reflexiones que producen las nubes en días normalmente con nubes y claros.

Radiación horaria predicha P10, P50 y P90 frente a la radiación medida



**Ilustración 99. Representación de radiación P10, P90, P50 frente a la radiación medida.**

Error diario acumulado al final del día

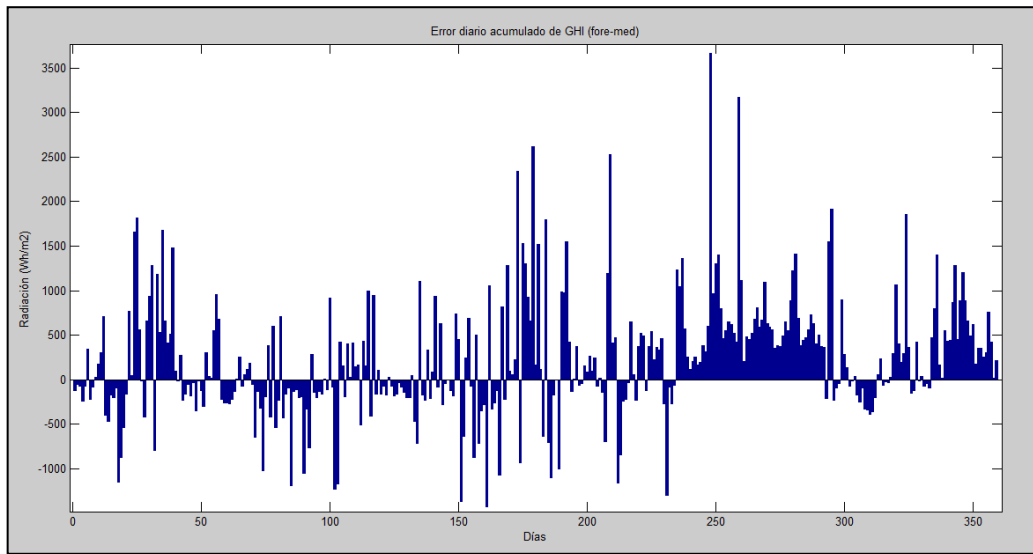


Tabla 5. Representación del error horario acumulado al final del día.

Con esta representación lo que se pretende es ver cuál es el error en acumulado en energía que se tendría al final de cada día.

Error diario en valor absoluto

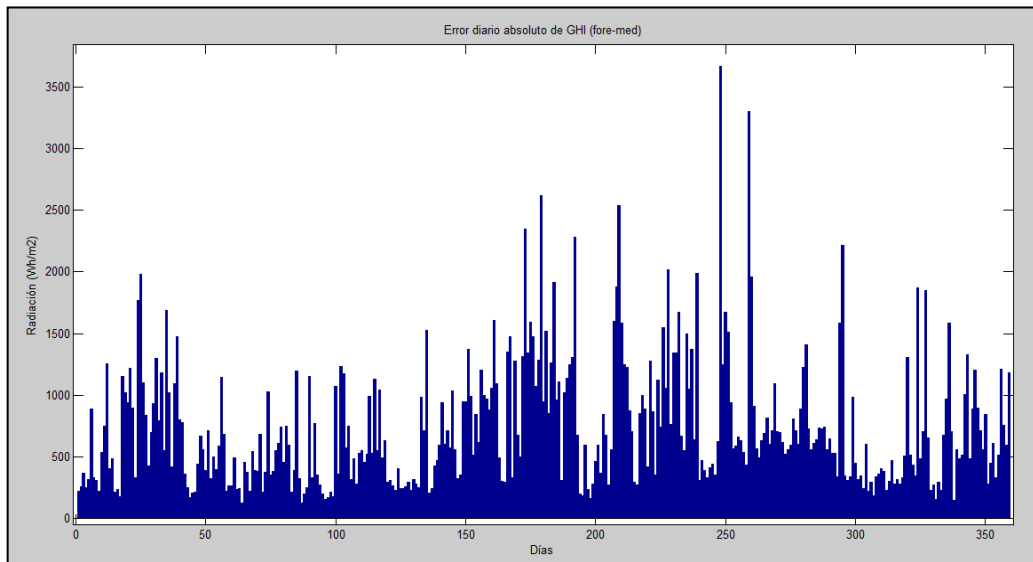
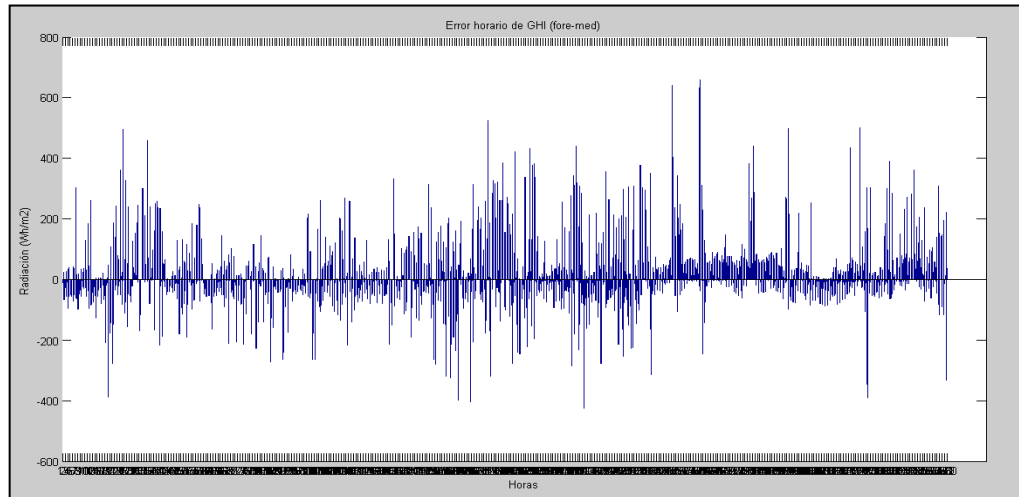


Ilustración 100. Representación del error diario en valor absoluto.

Con este cálculo se pretende ver cuál es el error diario acumulado al final del día hora a hora de en valor absoluto, es decir, ver cuál es el error total que se comete diariamente, tanto positivo como negativo.

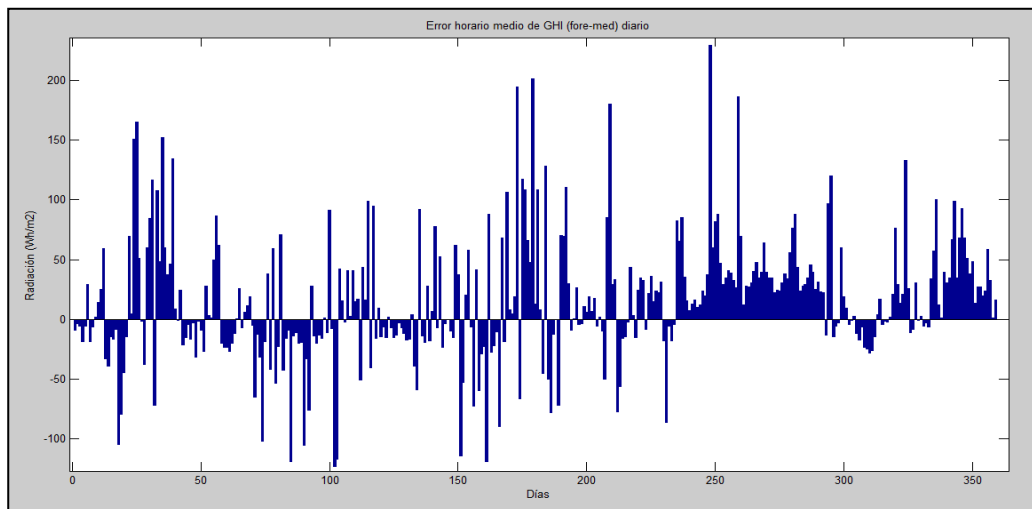
Error horario



**Ilustración 101. Representación del error horario a lo largo del año.**

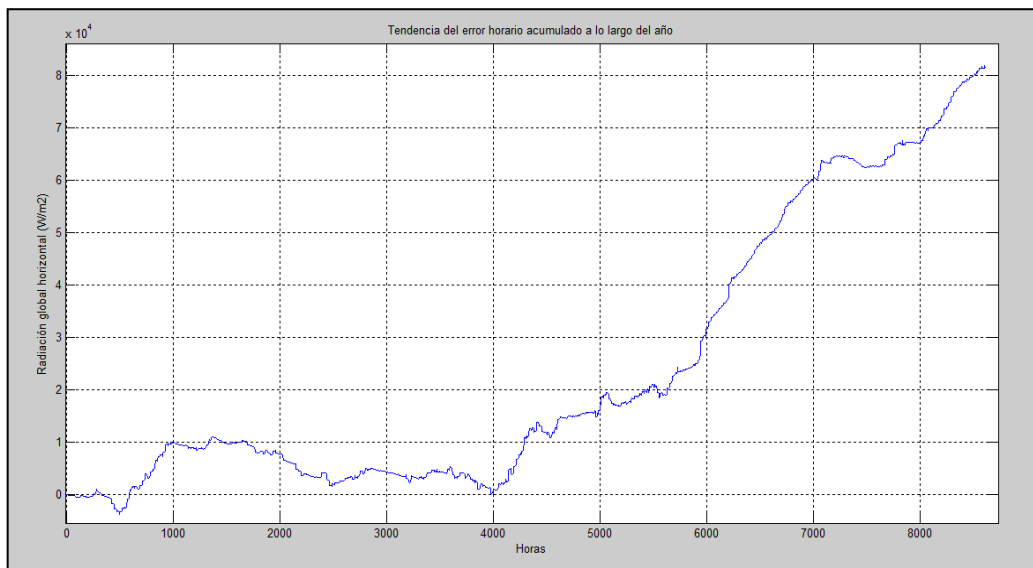
Esta representación nos ayuda a ver cuál es el error que se comete hora a hora entre la radiación predicha y la medida, ya calculado en las representaciones mensuales.

Error horario medio diario (También utilizado en las representaciones mensuales)



**Ilustración 102. Representación del error horario medio.**

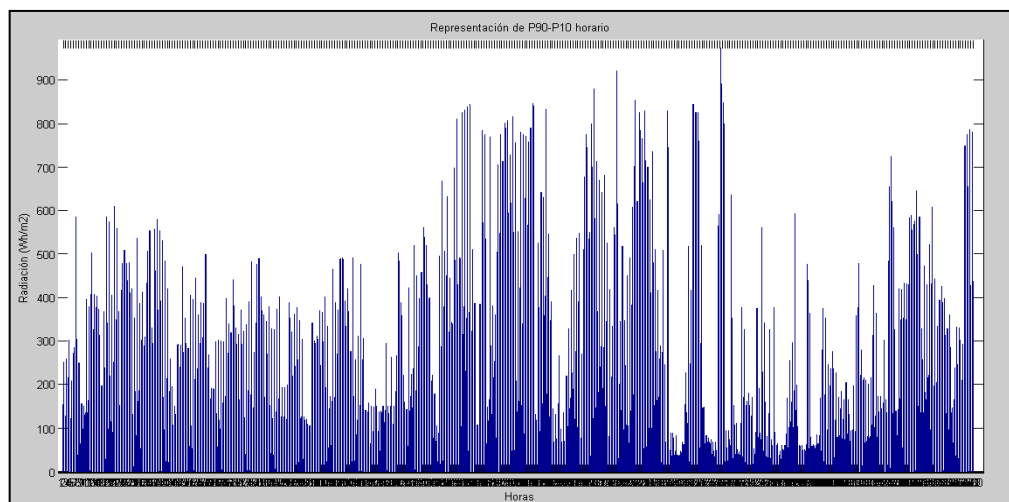
Tendencia del error horario:



**Ilustración 103. Representación de la tendencia acumulada del error horario.**

Esta representación, también utilizada anteriormente en la representación mensual, entre otras cosas nos sirve para correlar las conclusiones sacadas en el anterior apartado y que serían decir que el error que se comete a lo largo del año es mayoritariamente positivo, es decir, que las predicciones son en líneas generales más optimistas que la radiación real.

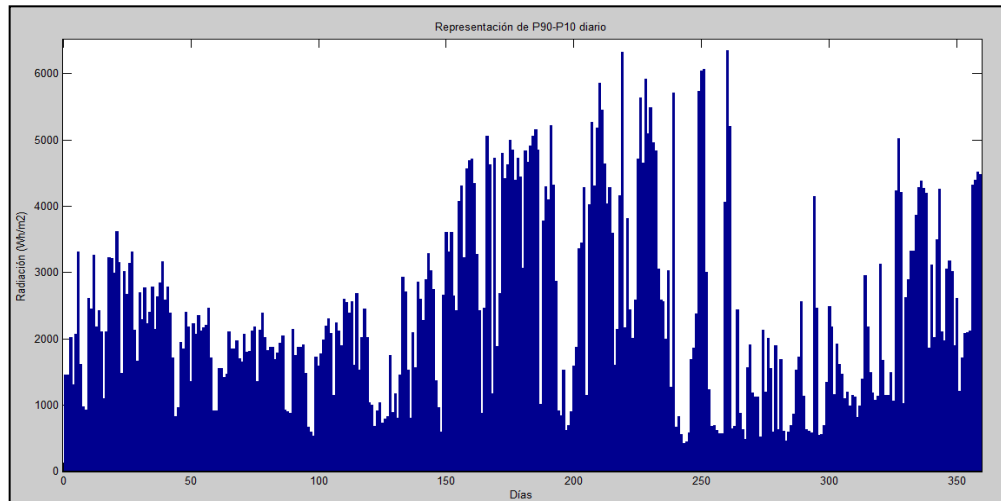
Diferencia horaria de P90 y P10:



**Ilustración 104. Representación horaria de P90 menos P10.**

Con estos cálculos lo que se pretende es determinar cuál es la incertidumbre que se plantea en las predicciones hora a hora por parte de la empresa encargada de las predicciones.

Diferencia diaria de P90 y P10:



**Ilustración 105. Representación de P90 menos P10 diario.**

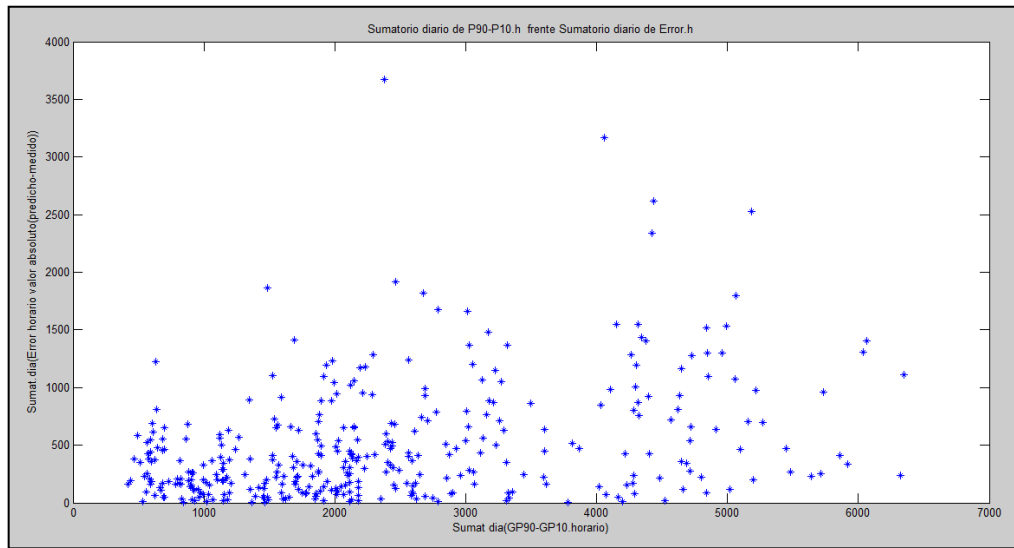
Mediante la representación del P90 menos el P10 diario lo que se pretende es determinar de qué tipo de día se trata (calculando la diferencia acumulada a lo largo del día), es decir, si la diferencia es pequeña, podremos decir que la predicción está muy segura de las predicciones que van a realizar, de lo contrario se deberá ser cauteloso con las predicciones, puesto que las probabilidades de equivocarse son mayores.

### **3.5.1 Análisis de los días anómalos**

Una vez descritas cuáles van a ser las representaciones propuestas en este apartado, lo que se propone es realizar varias representaciones del conjunto de los días jugando con los valores ya obtenidos de los errores cometidos en las predicciones horarias (GHI predicha (Percentil 50) menos GHI medida) y también con las diferencias entre el percentil 90 menos el P10, de tal manera que esto nos ayude a encontrar días que se comportan de forma inesperada (“días anómalos”), como podría ser un día con un error horario muy grande y una diferencia entre el P90 y el P10 muy pequeña y ver de qué clase de día se trata. Se propone realizar las siguientes representaciones:

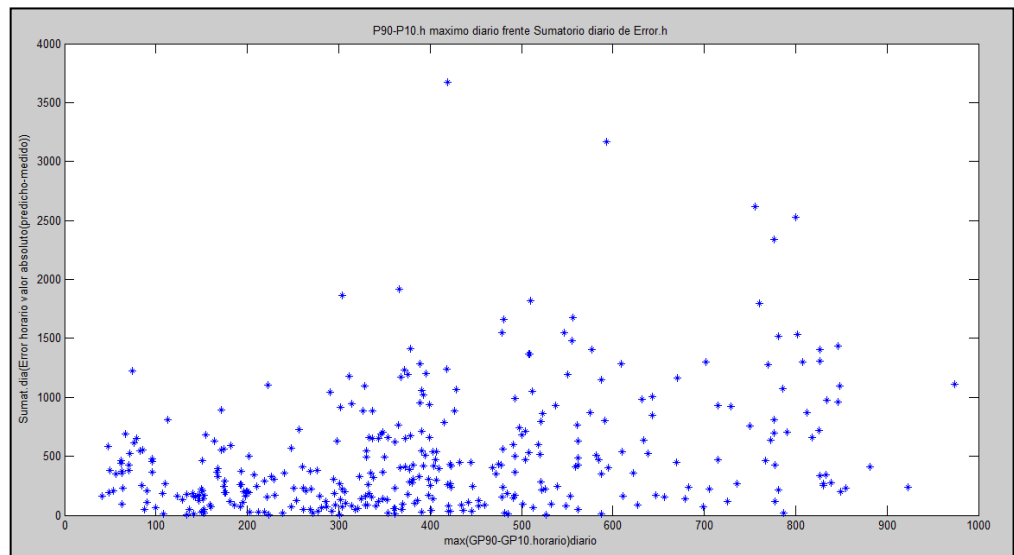


1. Representación del valor de la diferencia acumulada del P90 menos el P10 horaria al final de cada día frente a el error horario acumulado al final del día.



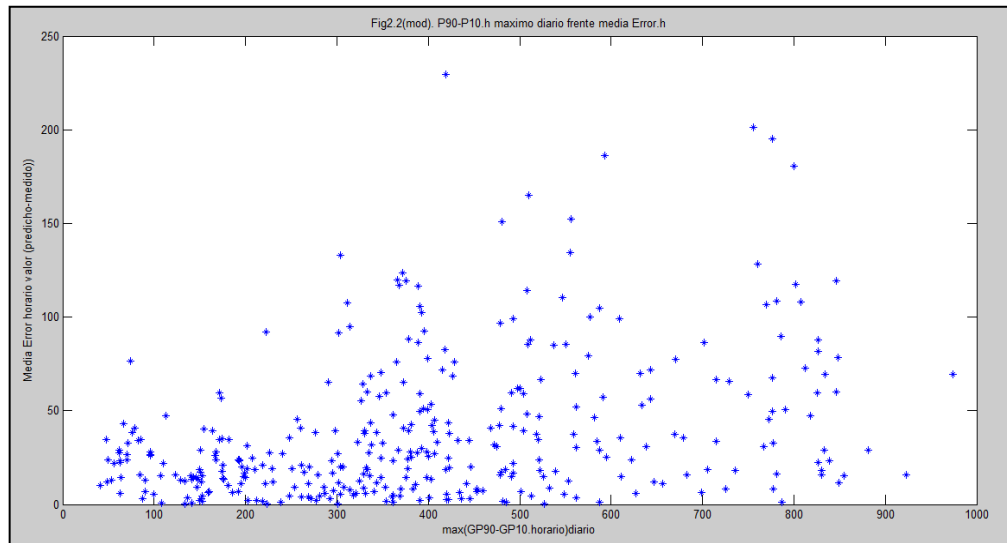
**Ilustración 106. Diferencia del P90 menos P10 acumulada diaria frente al error horario acumulado.**

2. Representación del valor máximo de diferencia del P90 menos el P10 horaria del día frente a el error horario acumulado al final del día.



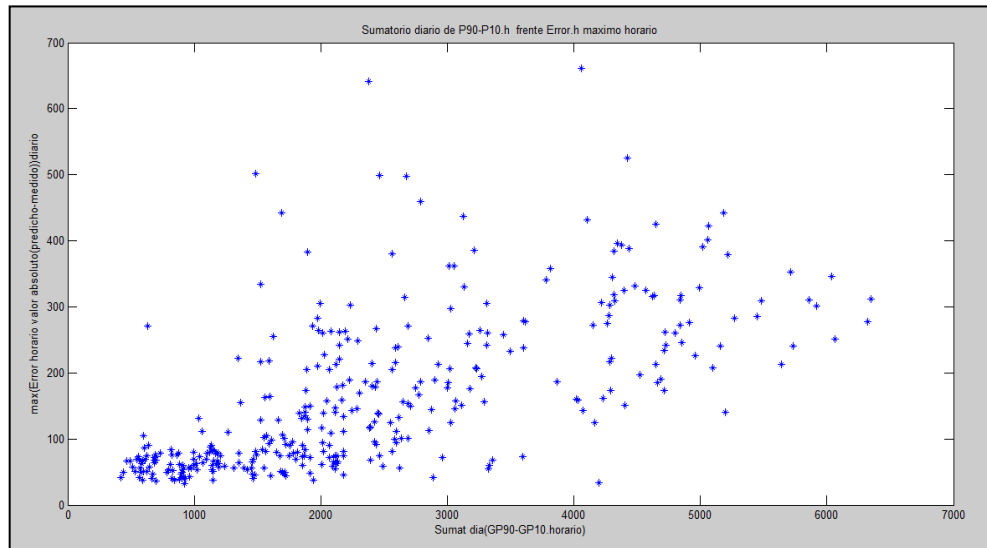
**Ilustración 107. Diferencia del P90 menos P10 máximo diario frente el error horario acumulado.**

3. Representación del valor máximo de diferencia del P90 menos el P10 horaria del día frente a el valor del error horario medio del día en valor absoluto.



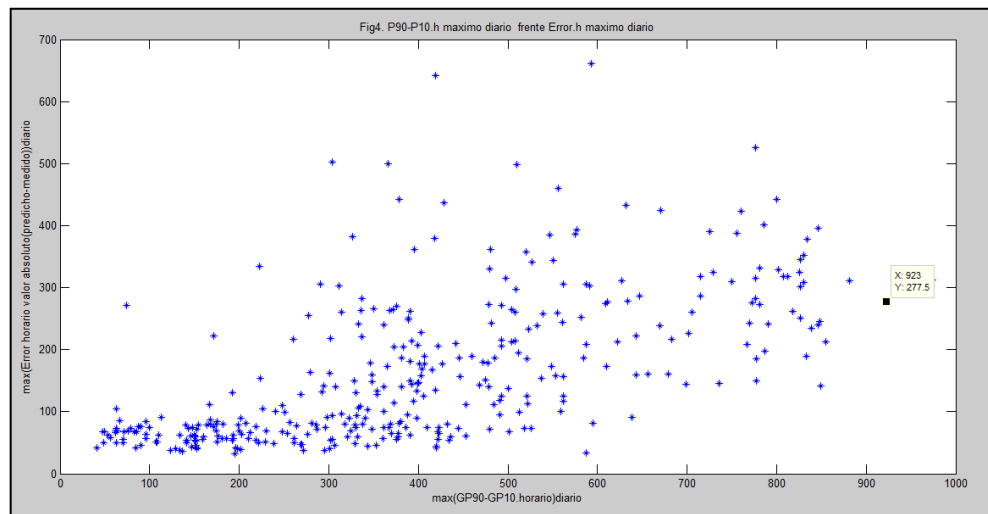
**Ilustración 108. Diferencia del P90 menos P10 maxima diaria frente error horario medio diario.**

4. Representación del valor de diferencia acumulada del P90 menos el P10 horaria al final de cada día frente al valor del error horario máximo en ese día.



**Ilustración 109. Diferencia del P90 menos el P10 horaria acumulada frente al error horario máximo diario.**

5. Representación del valor máximo de diferencia del P90 menos el P10 horaria en ese día frente al valor del error horario máximo en ese día.



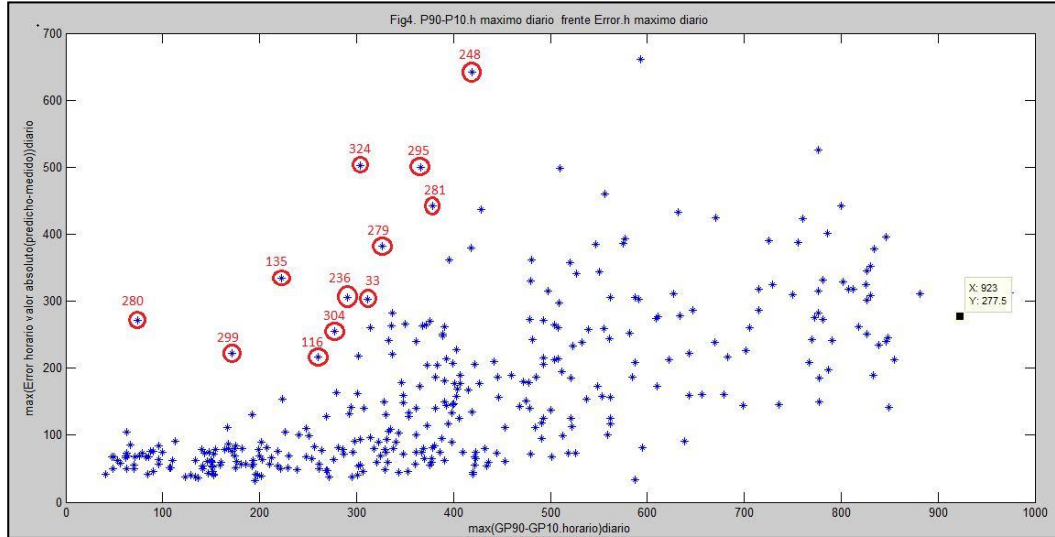
**Ilustración 110. Representación del máximo P90 menos P10 horario frente el máximo del error horario.**

Vistas las distintas representaciones se podría decir que los resultados obtenidos con ellas se ajustan a nuestras expectativas puesto que como ya se comentó anteriormente, lo que se esperaba obtener eran unas distribuciones de los días en forma de campana, es decir, debido a que se están simulando diferencias entre los percentiles y diferencias entre la radiación predicha y la medida, si el valor de una es pequeña lo teórico sería que el valor de la otra fuese también pequeña y que en caso de aumentar, fuesen aumentando de forma conjunta.

Sin embargo, como se puede apreciar de forma clara en las representaciones, estas distribuciones en forma de campana aunque se asemejan, no son ni mucho menos perfectas y además en unos casos, están más ajustadas que en otras. Por ello, lo que se propone a continuación, es analizar más de cerca las representaciones número 5 y número 3 y ver aquellos días que se salen de lo “esperado” que les ocurre.

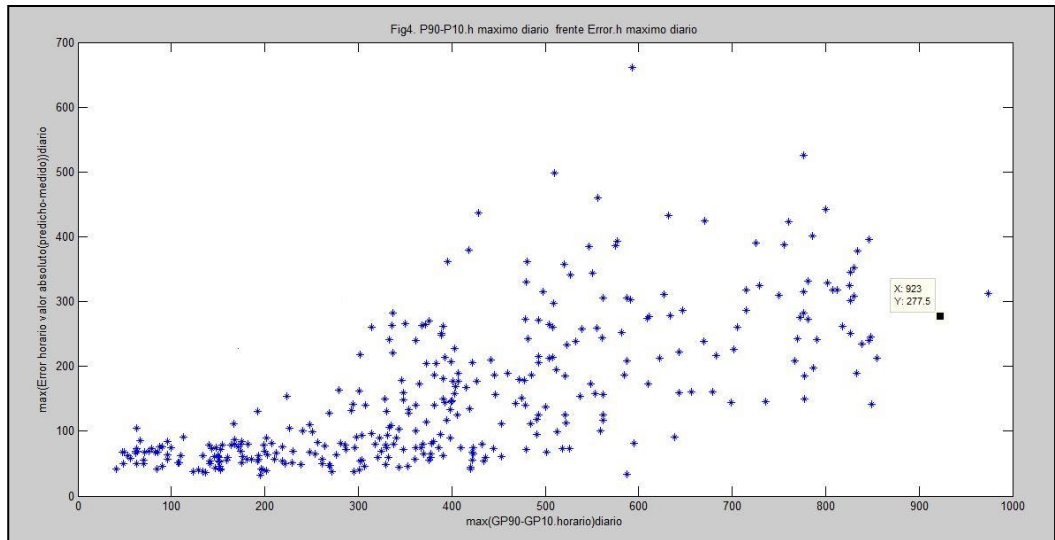
La manera de actuar va a ser la siguiente, y es ver aquellos días los cuales se salen de la campana teórica en la representación 5, es decir, aquellos días en los que se tiene un error horario puntual muy grande y sin embargo la diferencia entre los percentiles P90 y P10 puntual es pequeña, ver cuál es su situación en la representación 3 y comentarlos apoyándonos en otras simulaciones, con el fin de intentar determinar del porque de la anomalía.

A continuación se muestra la representación número 5 con los días anómalos señalados y localizados.



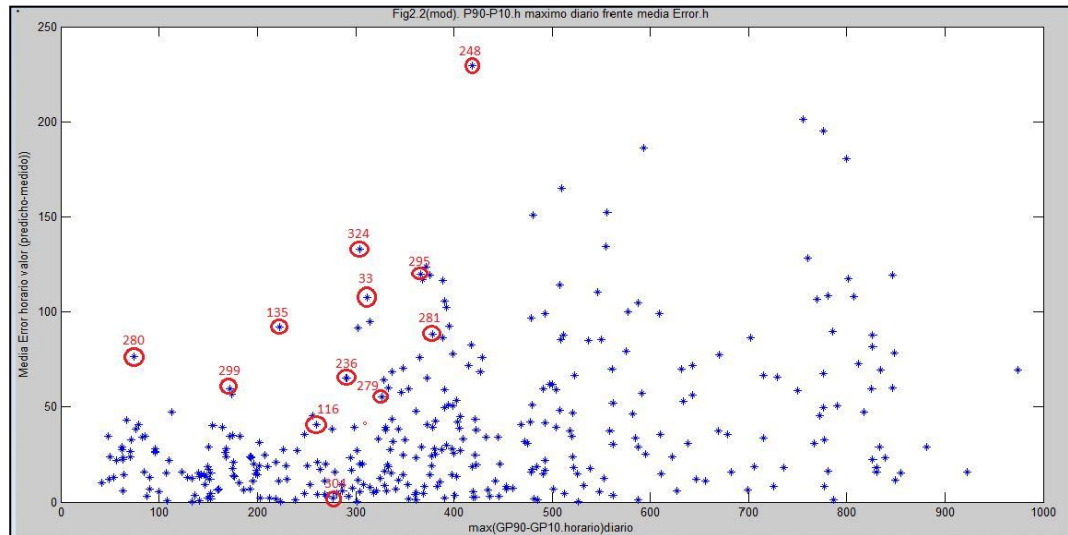
**Ilustración 111. Representación de los días anómalos.**

En el caso de que no se tuvieran estos días, se vería como los días se ajustan de mejor manera a una distribución en forma de campana. Ver como quedaría lo comentado en la siguiente ilustración.



**Ilustración 112. Días fuera de la campana eliminados.**

A continuación se muestran donde estarían estos días localizados en la representación número 3 que es la que enfrenta la diferencia máxima entre el P90 y P10 y el error horario medio a lo largo del día.

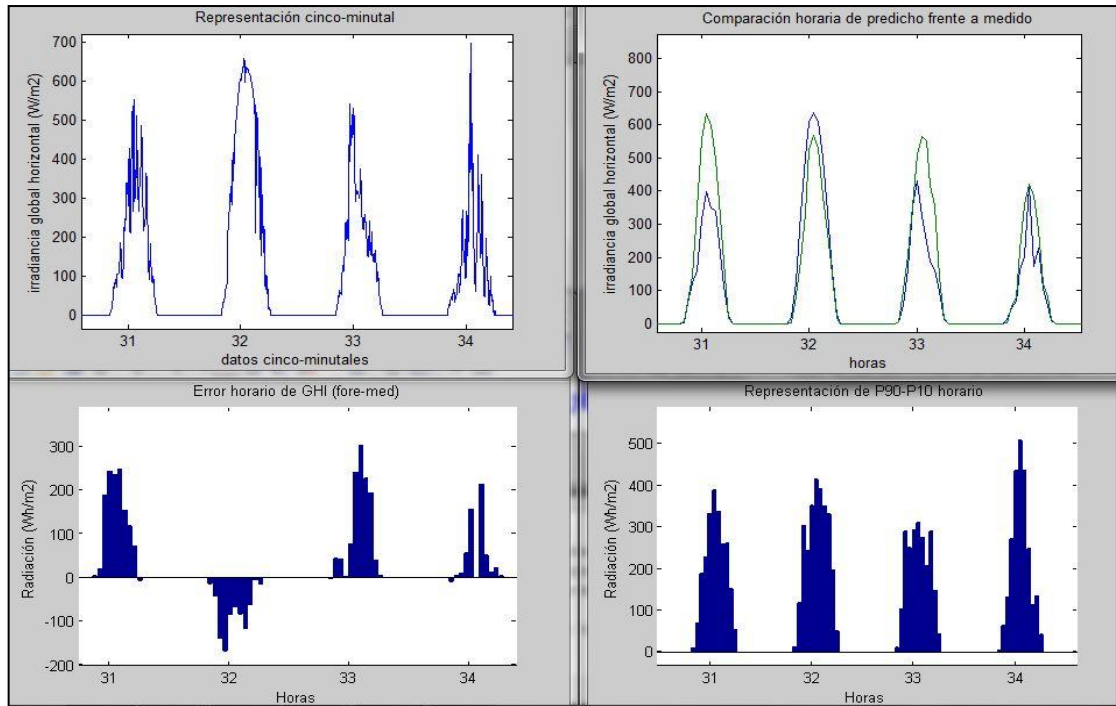


**Ilustración 113. Días raros localizados en la representación número 3.**

En la Ilustración anterior, se ve claramente como hay días que se escapan de la campana teórica al igual que lo hacían en la representación número 5 como son el día 280 (1 de Agosto), 324 (26 de Agosto), etc. Sin embargo hay días que en esta representación se encuentran dentro de la campana como podría ser el 304 (6 de Agosto), este tipo de días que únicamente tienen un único valor en el error horario que se le va, puesto que el error horario medio es muy bajo, lo más probable es que se trate de un día en el que a lo largo de una hora, se tuvo una nube y la predicción no la detecta, pero todo eso se verá a continuación.

Para el análisis de los distintos días anómalos, se van a utilizar las diferentes representaciones de los datos cinco-minutales, radiación predicha frente a medida lineal y horaria, el error horario y la diferencia entre el P90 y P10 horario, además se mostrarán los dos días anteriores y el siguiente al día anómalo.

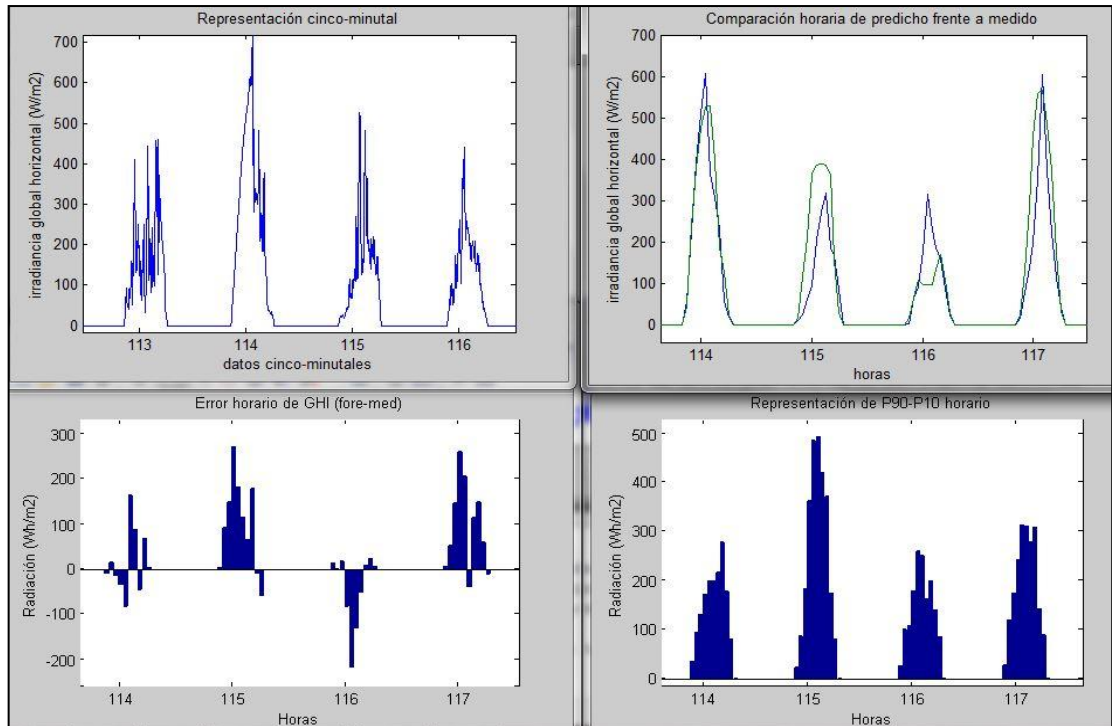
- Día 2 de Noviembre (33):



**Ilustración 114. Análisis del día 2 de Noviembre.**

Este día aparece entre los días anómalos seleccionados puesto que tiene un error horario en el centro del día de gran tamaño principalmente debido a que se tiene una nube a esa hora. Decir que este día se encuentra prácticamente en el borde de la campana y que tampoco es tan grave el error cometido en la predicción puesto que esta ya avisaba con la diferencia de los percentiles 10 y 90 de la incertidumbre en la predicción.

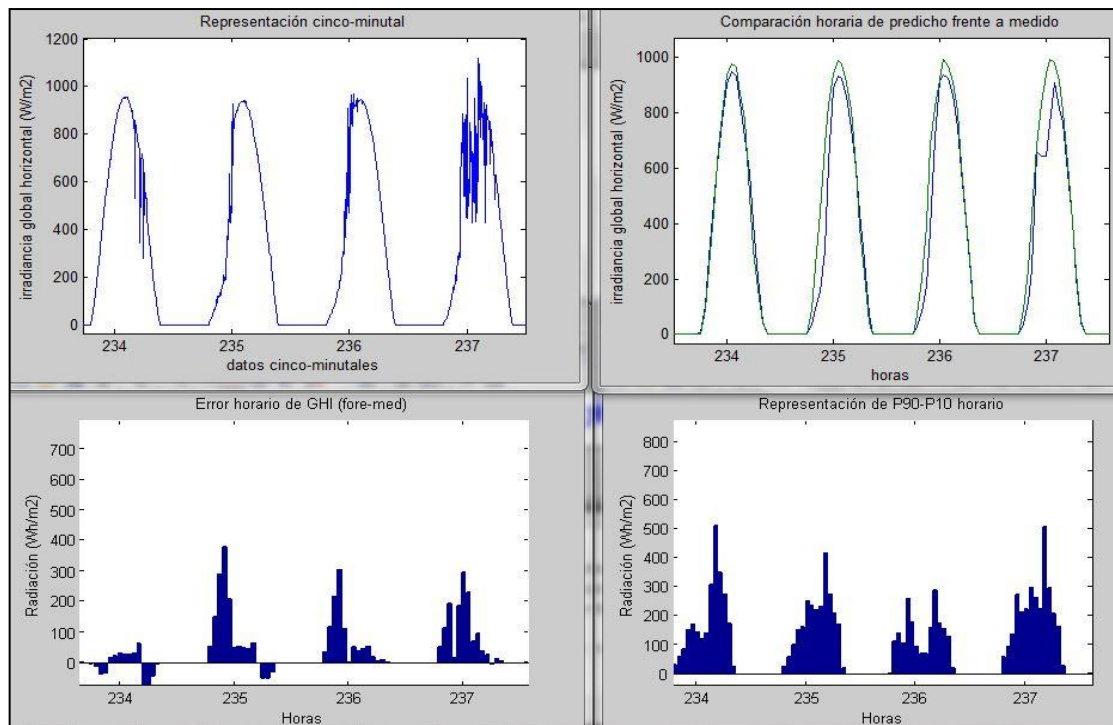
- Día 25 de Enero (116):



**Ilustración 115. Representaciones del 25 de Enero.**

A este día le ocurre algo parecido al anterior, es decir, resalta por el gran error horario que tiene en la mitad del día, pero a diferencia del anterior este se comete puesto que se tuvo más radiación de la esperada (se esperaba un día entero nublado y en la mitad del día salió el sol). Salvo este fallo puntual el resto del día lo predice bastante bien de ahí que en la representación 3 se encuentre junto a los demás días “normales”.

- Día 25 de Mayo (236):



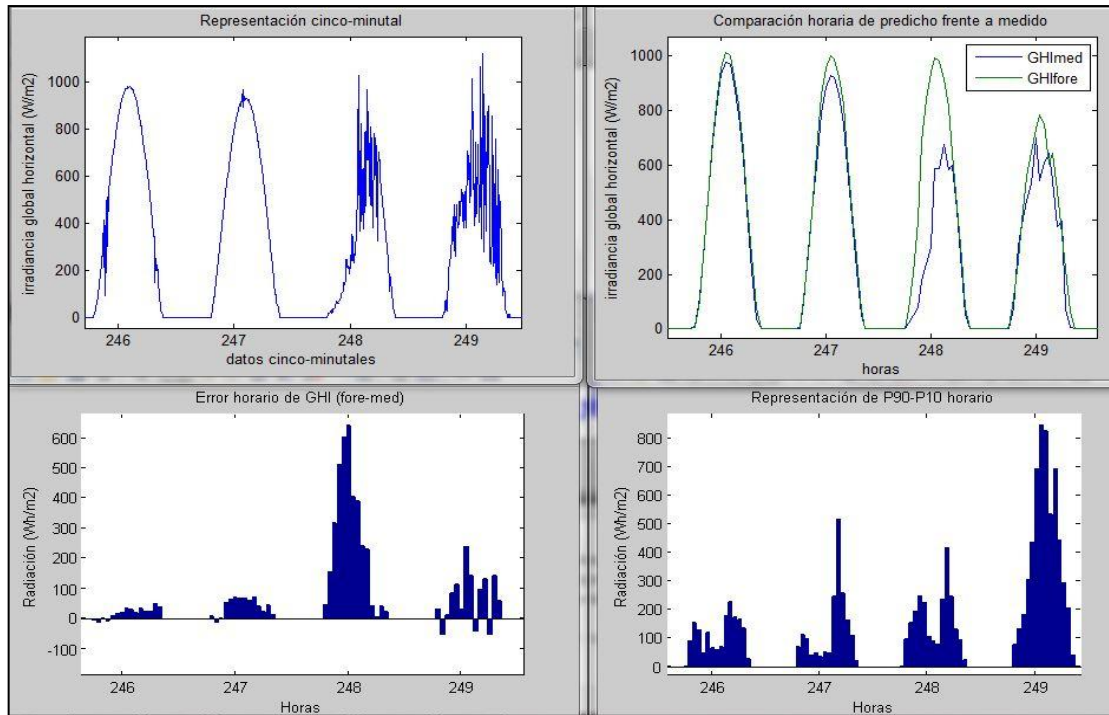
**Ilustración 116. Representaciones del 25 de Mayo.**

A este día lo que le sucede es que como se venía de una concatenación de días claros, la predicción en este día se confía y reduce la diferencia entre el percentil 90 y el percentil 10, pero lo que realmente ocurre al final es que al comienzo del día, tenemos una nube o un poco de nubosidad (no muy intensa) y se obtienen grandes errores horarios de GHI.

Se puede ver como para el día 24 de Mayo los errores horarios que se están cometiendo son mayores pero la diferencia entre los percentiles P90 y P10 avisa de la incertidumbre que puede tener ese día y por ello no aparece dentro de los días seleccionados.



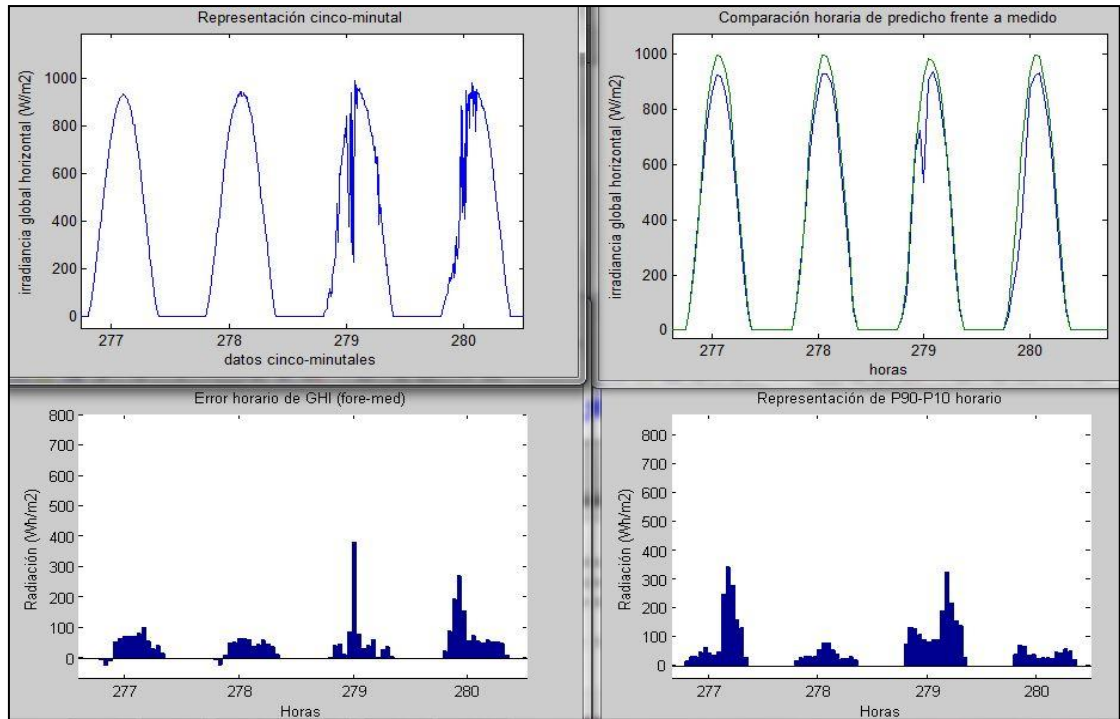
- Día 6 de junio (248):



**Ilustración 117. Representaciones del 6 de Junio.**

Para el día 6 de Junio se ve claramente lo que sucede y es que la predicción no ha tenido en cuenta para nada el día nublado que se ha tenido (ni tan si quiera lo avisaba con la diferencia entre los percentiles) y se obtiene un error horario tanto medio como puntual muy grande. Como se puede comprobar este día aparece destacado tanto en la representación número 5 como en la número 3.

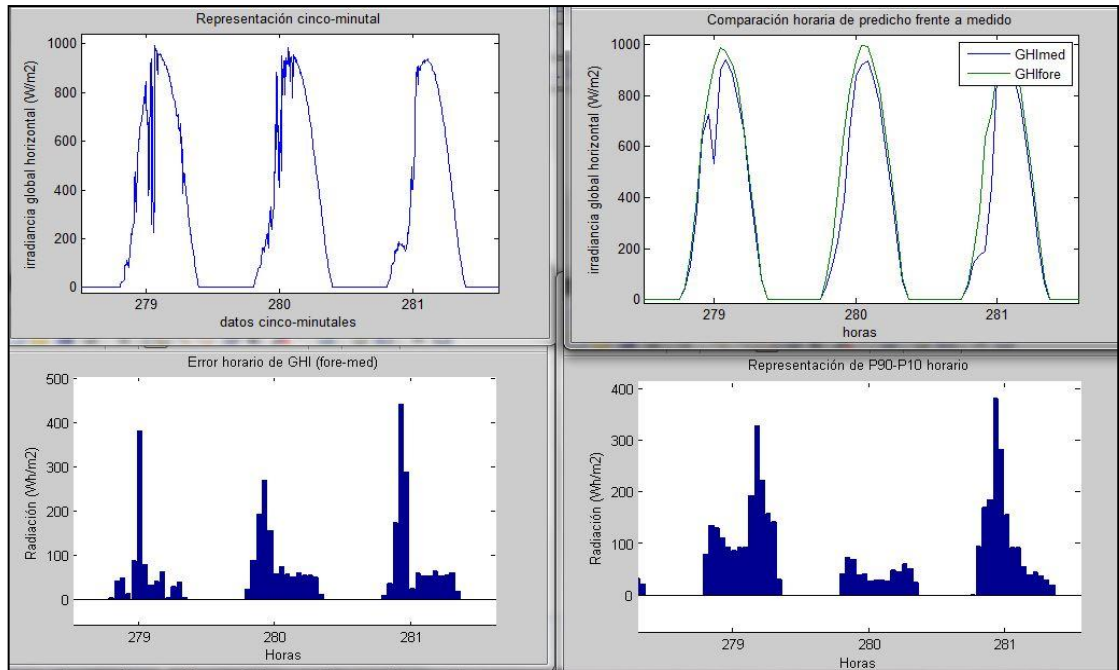
- Día 12 de Julio (279):



**Ilustración 118. Representaciones del día 12 de Julio.**

Este día es muy parecido al 2 de Noviembre donde se tiene únicamente una nube en la parte central del día que no se predice, lo que hace tener un error horario puntual grande y con una diferencia entre los percentiles P90 y P10 pequeña.

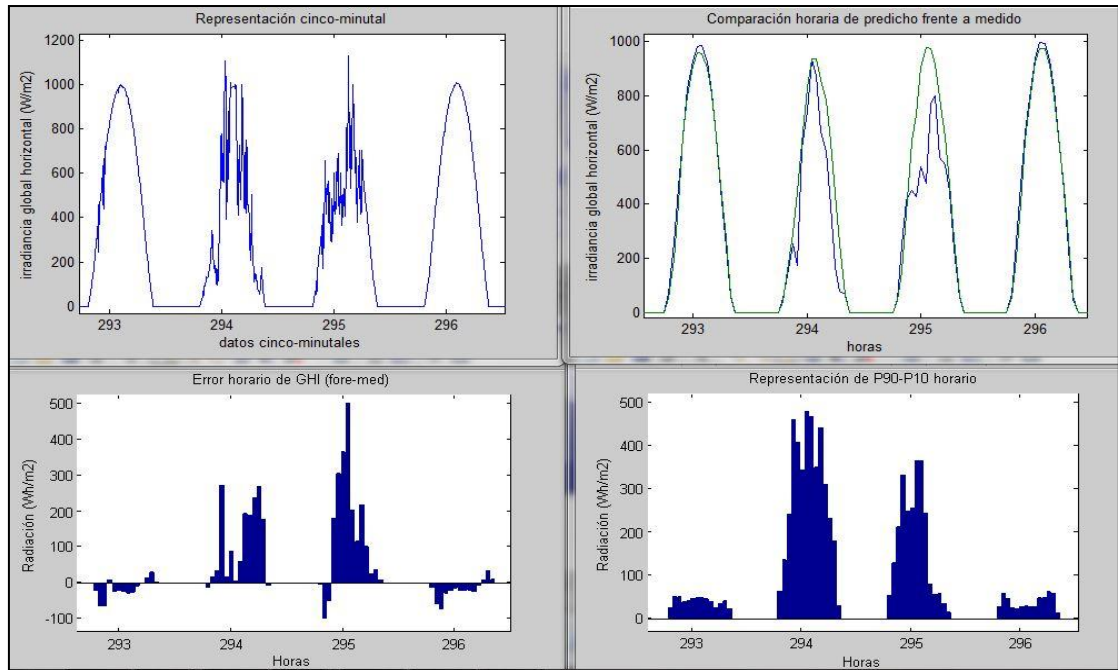
- Día 13 Julio (280):



**Ilustración 119. Representaciones del día 13 de Julio.**

A este día le ocurre algo parecido al 12 de Julio, y es que la predicción no detecta las nubes en la primera parte del día, lo que hace intuir que la predicción en este caso no revisan los errores que se han tenido en el día anterior, de ser así la diferencia entre los percentiles P90 y P10 no se hubiera reducido y la predicción hubiese sido cautelosa.

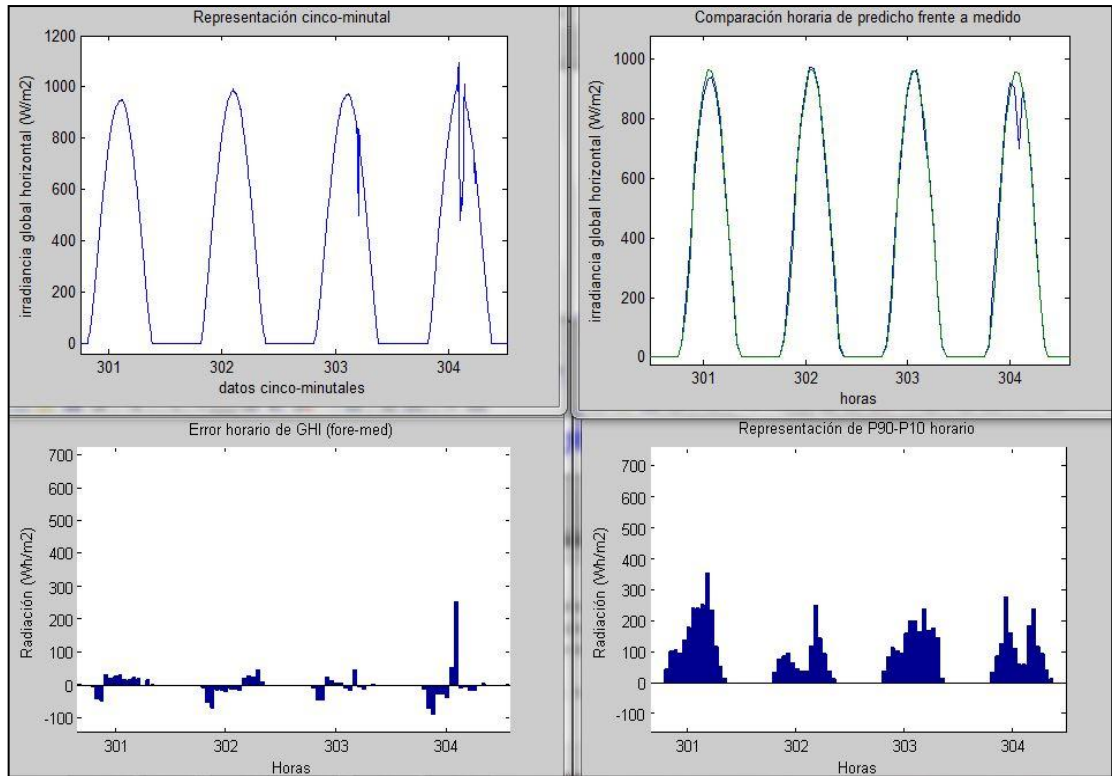
- Día 28 de Julio (295):



**Ilustración 120. Representaciones del 28 de Julio.**

Aunque para este día las diferencias entre el percentil 90 y el 10 avisan de la incertidumbre que la predicción intuye para ese día, el error en la predicción sigue siendo bastante grande de ahí que aparezca como uno de los días señalados.

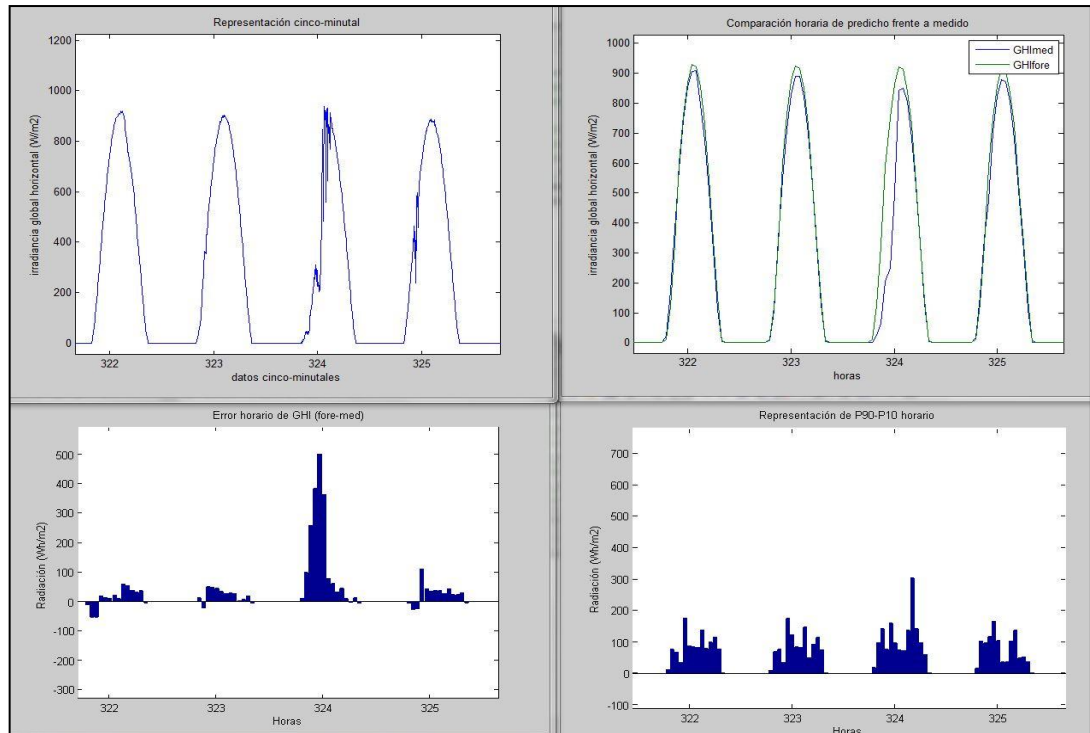
- Día 6 de Agosto (304):



**Ilustración 121. Representaciones del día 6 de Agosto.**

Como ya se comento al comienzo de este apartado, se ve claramente que lo que sucede en el 6 de Agosto y es la no predicción de una nube en la parte central del día, además de que la predicción esperase un día completamente claro y con muy poca incertidumbre.

- Día 26 de Agosto (324):



**Ilustración 122. Representaciones del 26 de Agosto.**

Lo que sucede en el día 26 de Agosto es que no se predice nubes en la primera mitad del día (la predicción espera un día despejado y sin incertidumbre) y por consiguiente se obtiene un error horario grande.

Como reflexión ante los distintos días estudiados, podríamos decir que más que días raros se trata de errores en las predicciones por parte de la empresa “Meteologica” que en unos casos no detecta una nube en la parte central del día y en otros se equivoca prediciendo a lo largo de todo el día y con el principal problema de no avisar con la diferencia entre los percentiles P90 y P10.

Comentar que salvo para el 25 de Enero en el cual se esperaba un día muy nublado y aparece el sol en la parte central del día, el resto de errores son todo lo contrario, la predicción no se percata de la aparición de nubes a lo largo del día, por lo que se puede pensar que el modelo utilizado para la predicción de nubes no es el mejor. Resaltar sobre todo aquellos días (26 de Agosto, 13 de Julio, 25 de Mayo, etc.) que durante la primera parte del día han tenido

nubes y la predicción no es que no lo haya acertado, es que ni tan si quiera lo ha dudado siendo que las predicciones se realizan a las 00:00 horas.

### 3.5.2 Análisis de los percentiles

A raíz de obtener la representación de todos los distintos percentiles de predicción junto a la radiación medida y de hacer un estudio, se destaca lo siguiente a cerca de ellas:

- A lo largo de varios días de verano en la línea de lo que se comento en las conclusiones de las representaciones mensuales a cerca de que las predicciones no se corregían aún siendo días claros, en este caso con los percentiles sucede lo mismo, o incluso se podría decir que algo más grave puesto que se obtienen varios días seguidos en los cuales la predicción del percentil 10 está por encima de la radiación medida sin ser corregida. A continuación se muestra lo dicho.

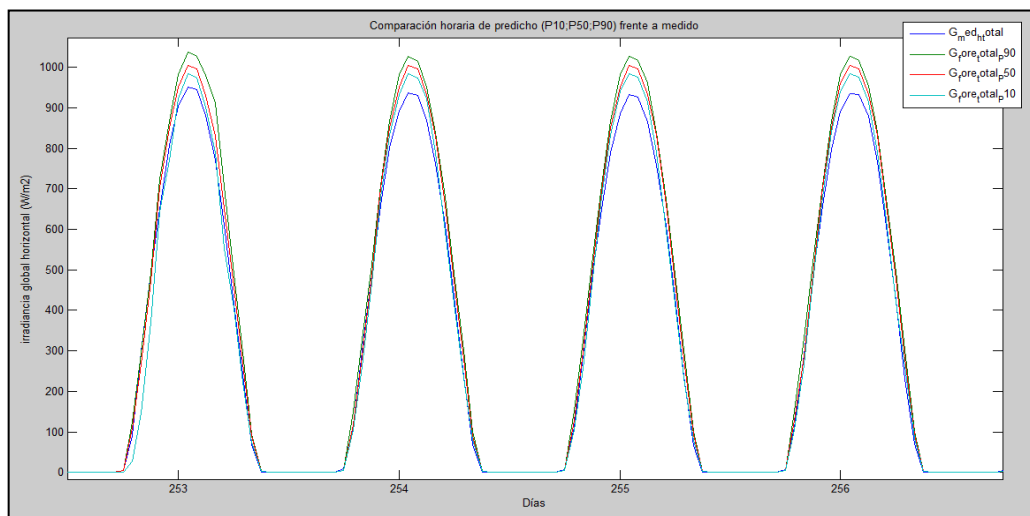
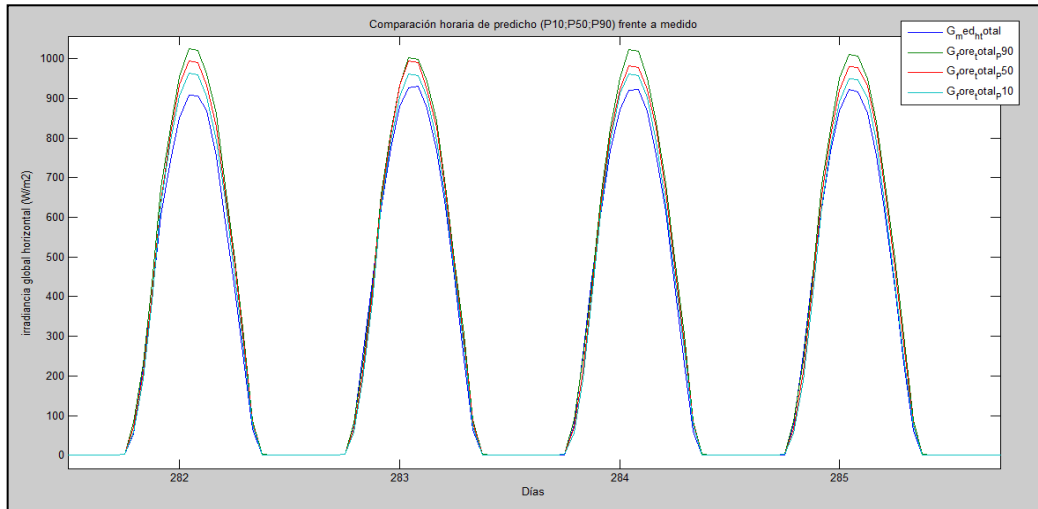
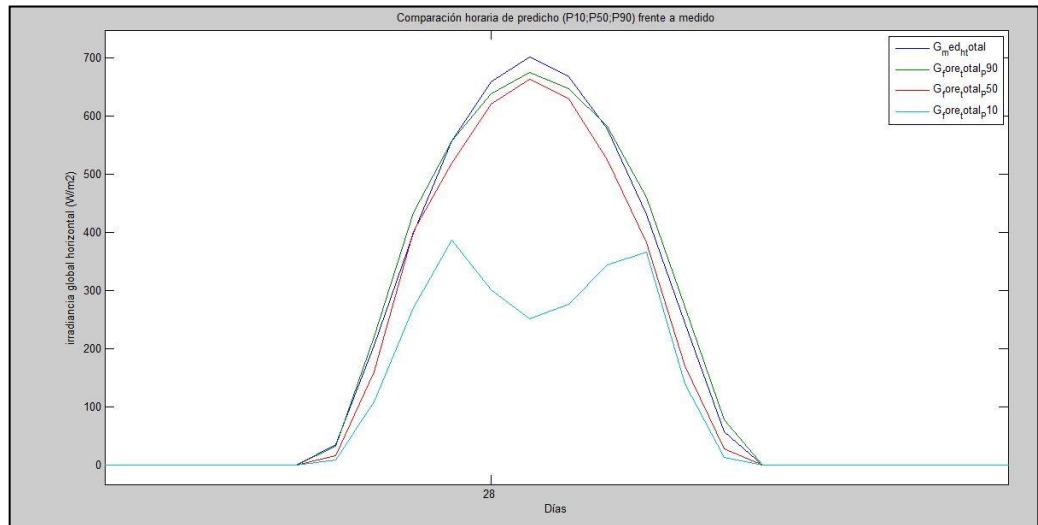


Ilustración 123. Representación del 11 al 14 de Junio la GHI medida el P10, P90 y P50.



**Ilustración 124. Representación del 15 de Julio al 18 de Julio.**

- Por el contrario, en días en los que la radiación está por encima de la predicción P90 apenas ocurren, a continuación se muestra el día 28 de Octubre en el cuál se ve que ocurre esto en la parte central del día.



**Ilustración 125. Representación de GHI med, P10, P90 y P50 para el 28 de Octubre.**

- Con el fin de obtener un resultado orientativo a cerca de lo comentado, se ha realizado el cálculo hora a hora en porcentaje de todas aquellas veces en la que la GHI medida está por debajo del percentil 10 y lo mismo para aquellas veces en las que la GHI medida este por encima del percentil 90 de predicción. Estos son los resultados obtenidos:

$$(\%) \text{ GHI\_med\_horaria} < \text{GHI\_P10\_horaria} = 9,3\%$$



$$(\%) \text{ GHI\_med\_horaria} > \text{GHI\_P90\_horaria} = 6,2\%$$

Si se hace el cálculo solo para los días de verano (1 de Junio hasta el 30 de Septiembre), se obtiene lo siguiente:

$$(\%) \text{ GHI\_med\_horaria} < \text{GHI\_P10\_horaria} = \mathbf{17,8\%}$$

$$(\%) \text{ GHI\_med\_horaria} > \text{GHI\_P90\_horaria} = 6,13\%$$

De los resultados obtenidos se podría decir que a nivel global a lo largo del año los percentiles se comportan correctamente porque como ya se comento en la explicación de los percentiles estos vienen a decir que el 10% de las veces la radiación predicha podrá estar por encima de la medida (para el caso del P10). Sin embargo en el periodo de verano los resultados obtenidos no son nada buenos ya que se tiene un 17,8% de las horas la radiación medida se sitúa por debajo del percentil P10, con lo que se vuelve de nuevo al mismo punto de antes, el cual dice que en general las predicciones son siempre más optimistas que la radiación medida y que además de ello, se cometen muchos errores en las predicciones por culpa de la no corrección con respecto al día anterior además de la no buena predicción de las nubes.

## **4- CONCLUSIONES**

Como conclusión final para este proyecto final de máster, se podría decir que el campo de la predicción solar es un campo al cual todavía le faltan años de desarrollo, pero en el cual se debe continuar trabajando ya que las facilidades y mejoras que podría aportar una buena predicción solar al mundo de las energías renovables y más en concreto al de la solar serían inmensas, con una mayor integración de estas energías en nuestro sistema actual.

Como conclusiones a cerca de los análisis y tratamientos de datos realizados se podría concluir con lo siguiente:

- Es siempre necesario asegurarse de que los datos de los cuales se disponen están en buen estado. Para llevar a cabo un buen tratamiento de los datos iniciales es necesario disponer de un buen procedimiento de actuación además de las correctas herramientas de análisis.
- En cuanto a las predicciones finalmente analizadas (“Meteologica”), se podría concluir, que estas no son todavía lo suficientemente buenas ya que como se comenta en los diferentes análisis realizados, las predicciones fallan mucho a la hora de predecir nubes, aunque haya días en que se hacen bien y otros en los cuales no se predice en ningún momento esa nube. Además de esto la no corrección de la predicción con respecto al día anterior hace seguir cometiendo un error innecesario a la larga sobre todo en los meses de verano.
- A cerca de las predicciones realizadas por Sun to Market, no están en un correcto estado para poder hacer un análisis en condiciones, no se sabe a que se debe la falta de datos.

### **Propuestas futuras**

Como continuación para este proyecto, se propone el realizar un análisis estadístico del porcentaje de días que fallan en la predicción (o se aciertan), incluso separar estos por días claros y días nublados, ya que son totalmente distintos unos de otros y ver qué conclusiones se pueden sacar.

Otro punto que puede ser interesante es el trasladar estos datos de predicción solar a una planta fotovoltaica piloto (puesto que los valores estudiados son de GHI) y ver cuál sería

las diferentes consignas de potencia que se podrían inyectar a red en función del reglamento actual o un posible reglamento futuro, viendo en primer lugar el dimensionamiento óptimo del almacenamiento además de cómo sería el trabajo del almacenamiento con respecto a la radiación que se predice al comienzo del día y el compromiso que se lleve a cabo con Red eléctrica.

## **5- BIBLIOGRAFIA**

- [1]: “Solar forecasting methods for renewable energy integration” by: Rich H. Inman, Hugo T.C. Pedro, Carlos F.M. Coimbra.
- [2]: “Predicting Solar Power Production” by: SEPA
- [3]: “Advanced approach for solar resource studies” by: S2m Solutions.
- [4]: “Validation of Solar Resource Analysis” by: S2m Solutions.
- [5]: “DNI forecasting using coupled WFR and MRM, enhanced with a neural network for CSP applications” by: S2m Solutions.
- [6]: “Weather Modeling and Forecasting of PV Systems Operation” by: Marius Paulescu, Eugenia Paulescu, Paul Gravila and Viorel Badescu. (London 2013)
- [7]: “[www.irsolav.com/workshop/presentations.php](http://www.irsolav.com/workshop/presentations.php)”
- [8]: “Evaluación de Recursos Solares” by: UPNA Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural.