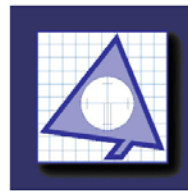


Diploma de Estudios Avanzados

Suficiencia Investigadora

Programa de Doctorado en Ingeniería Geográfica



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
TOPOGRÁFICA Y CARTOGRAFÍA

Memoria Docente e Investigadora

Doctorando: Federico Vladimir Gutiérrez Corea

Tutores: Prof. Dr. Miguel Ángel Manso Callejo
Prof. Dr. Miguel Ángel Bernabé Poveda

Junio de 2011



Análisis de las Observaciones sub-hora de la Radiación Solar registrada por las Estaciones Meteorológicas Voluntarias de la red MeteoClimatic

Trabajo de investigación tutelado dirigido a la obtención de la suficiencia investigadora en el programa de doctorado en Ingeniería Geográfica

Autor

Federico Vladimir Gutiérrez Corea

Directores

Prof. Dr. Miguel Ángel Manso Callejo

Prof. Dr. Miguel Ángel Bernabé Poveda

Junio de 2011

Índice

Resumen.....	3
1. Introducción.....	3
2. Radiación Solar (RS).....	4
2.1. Componentes de la Radiación Solar.....	4
2.1. Radiación Solar en el ámbito de las energías renovables.....	6
3. Investigación de la Aplicabilidad de Observaciones de Radiación Solar Procedentes de Estaciones Meteorológicas Voluntarias.....	8
3.1. Datos experimentales.....	8
3.1.1. Valores de RS captadas por estaciones oficiales en tierra AEMET.....	8
3.1.2. Valores de RS captados por estaciones en tierra de Meteoclimatic.....	9
3.1.3. Estimaciones de RS derivadas por Satélite.....	11
3.2. Recursos utilizados y desarrollos de software.....	13
3.2.1. Hardware y Sistema de Base.....	13
3.2.2. Softwares desarrollados.....	13
3.2.2.1. Servicios de Descarga de RS desde AEMET.....	13
3.2.2.2. Servicios de Descarga de RS desde Meteoclimatic.....	14
3.2.2.3. Sistema para la descarga, fusión y análisis de datos de RS.....	14
3.3. Metodología.....	16
3.3.1. Recolección y Carga de RS datos desde distintas fuentes.....	16
3.3.2. Alineación temporal de las series de datos.....	17
3.3.3. Detección de valores atípicos.....	18
3.3.3.1. Valores observados y valores estimados.....	18
3.3.3.2. Valores de la RS cuando el sol se encuentra bajo el horizonte.....	18
3.3.3.3. Identificación de valores atípicos (Outliers).....	19
3.3.3.3.1. Identificación de valores atípicos por diferencias entre Estimaciones/Observaciones.....	20
3.3.3.3.2. Identificación de valores atípicos por errores relativos entre Estimaciones/Observaciones.....	23
3.3.4. Agrupaciones espaciales.....	26
3.3.3.1. Agrupación Este-Oeste cada 5° de longitud.....	26
3.3.3.2. Agrupación Norte-Sur atendiendo a la resolución espacial de las imágenes del satélite Meteosat.....	27
3.3.3.3. Agrupación por las celdas que definen las longitudes y las pseudo-latitudes.....	28
3.3.5. Agrupaciones temporales.....	29
4. Resultados.....	29
4.1. Valores validos.....	29
4.2. Errores relativos sin ningún tipo de agrupación.....	31
4.3. Análisis de errores.....	33
4.3.1. Análisis de errores agrupados por Meses/Longitudes/Horas.....	33
4.3.2. Análisis de errores agrupados por Meses/Cuasi-Latitudes/Horas.....	34
4.3.3. Análisis de errores agrupados por Meses/Celdas/Horas.....	34
5. Conclusiones.....	36
6. Trabajos futuros.....	38
Referencias.....	40

ANEXO.....	43
A.1. Listado de estaciones en tierra utilizadas.....	43
A.2. Errores relativos agrupados por meses y horas.....	49

Resumen

Enriquecer el conocimiento sobre la Radiación Solar (RS) a nivel del suelo es de gran interés para diferentes aplicaciones meteorológicas entre ellas el área de las energías renovables como la energía solar. La interpolación de observaciones de RS por estaciones en tierra, los sensores remotos y la ejecución de distintos modelos son algunas de las formas que existen para obtener valores de RS con continuidad espacial en el terreno. Aunque se sabe que los mejores valores de RS en la superficie son los observados por estaciones terrestres, este tipo de observaciones presentan como desventaja una baja distribución geográfica. En este trabajo se propone el uso de estaciones meteorológicas de voluntarios no oficiales (Meteoclimatic, Weather, Underground, Weather, Link, CWOP) las cuales son fuentes de Información Geográfica por Voluntarios (*Volunteered Geographic Information - VGI*) que proporcionan sus observaciones RS en tiempo real a través de Internet como una alternativa para densificar la disponibilidad y distribución espacial de las observaciones por RS a nivel superficial. En este trabajo se desarrolla una metodología que contempla tanto la recolección de las observaciones, como su alineación temporal para finalizar con el análisis de los datos indicando sus valores de incertidumbre a medida que se integra en una Base de Datos que integra las distintas fuentes de datos utilizadas. Los resultados indican que el error RS relativo entre las estimaciones por satélite y las observaciones en superficie no es constante a lo largo del día y por tanto debe analizarse mediante agrupaciones. También se ha observado que dicho error puede verse afectado por la localización de la estación meteorológica, en concreto se ha apreciado una relación directa entre el error relativo y la diferencia entre las longitudes de la ubicación de las estaciones superficiales en tierra y el satélite. Ésta misma comparación sugiere que es correcto considerar el uso de Meteoclimatic (la red Voluntaria tomada como piloto) como una fuente de observaciones de la RS importante al presentar un error esperado y aportar aproximadamente 10 veces más estaciones meteorológicas RS que la red oficial en España aportando un buen precedente para la integración de más redes voluntarias en la densificación de observaciones de la RS con estaciones en tierra.

Palabras Clave: Volunteered Geographic Information, VGI, Solar Radiation, RS.

1. Introducción

El sol produce gran cantidad de energía en forma de radiación solar, su irradia cada hora es equivalente a casi 10 veces la energía que se consume anualmente en la tierra, es por esta razón que se está invirtiendo grandes esfuerzos para aumentar el aprovechamiento de la energía fotovoltaica convirtiendo la energía solar en energía eléctrica. (Punset 2011). El enriquecimiento del conocimiento sobre la Radiación Solar (RS) a nivel del suelo es de gran interés en el área de las energías renovables, como la energía solar, así como en otras aplicaciones meteorológicas (Polo, Zarzalejo, Ramírez 2008). Algunas de las formas que existen para obtener valores de la RS con continuidad espacial en el terreno son, la interpolación de las observaciones capadas por estaciones en tierra, los sensores remotos y la ejecución de distintos modelos. Sin embargo se sabe que los mejores valores de RS en la superficie son los observados por estaciones terrestres, si bien este tipo de observaciones presentan como desventaja una baja distribución geográfica.

En este trabajo y dentro del contexto meteorológico y de las fuentes de energía renovables se resalta mediante una revisión bibliográfica la importancia y las aplicaciones de la RS, seguidamente se analiza la validez de una red de estaciones meteorológicas no oficiales (Voluntarias) que proporcionan observaciones de la RS en tiempo real a través de Internet

como una alternativa para densificar la disponibilidad y distribución espacial de las observaciones de la RS.

Para validar las observaciones de la RS obtenidas de estas redes de voluntarios y proponer su uso, como fuente alternativa, se ha desarrollado una metodología que contempla tanto la recolección de las observaciones, como su alineación temporal y análisis de los datos obtenidos de estas estaciones para finalizar con su integración en una Base de Datos (BD) donde se unifican. En el proceso de análisis se realiza la detección de valores atípicos de 4 formas distintas, se estudian los errores indicando su discrepancia relativa y mediante la agrupación espacial de la localización de las estaciones se analizan cómo el cálculo de errores puede o no verse afectado por las direcciones este-oeste del recorrido del sol, norte-sur por la deformación de la resolución espacial del satélite desde donde se obtienen las estimaciones RS y finalmente por celdas (este-oeste/norte-sur) como una tercera forma de agrupación espacial. Para concluir y una vez debidamente analizadas todas las observaciones de RS se procede a su integración en una BD unificadora con el propósito de ayudar a densificar las observaciones de la RS por estaciones en tierra.

Los resultados de nuestro análisis demuestran de un modo científico que las discrepancias en los valores de la RS observada por las estaciones oficiales frente al método HelioSat son similares a las discrepancias observadas entre la RS observada por las estaciones meteorológicas VGI Meteoclimatic frente al método HelioSat y a su vez ambas son acordes con las diferencias encontradas por distintos autores. Todo ello verifica nuestra hipótesis inicial relativa a la calidad y la aplicabilidad de éste tipo de fuentes de datos voluntarias y no oficiales. Otra de las evidencias que derivan del método utilizado para validar la RS observada por las estaciones meteorológicas terrestres y las estimaciones generadas a partir de las imágenes de satélite sugieren que el error relativo existente entre ambas fuentes de información no es constante a lo largo del día (periodo de luz) y que presenta un sesgo en las horas de mayor gradiente de RS. Por tanto el método desarrollado nos ha permitido identificar y ratificar estos sesgos, aportando así el conocimiento de las observaciones de la RS por estaciones en tierra y estimaciones de la RS por satélite y la identificación de los periodos del día en los que el error entre ambos valores crece o decrece. Los valores de los errores obtenidos y su similitud con los errores esperados sugieren que es correcto considerar válido el uso de la red VGI Meteoclimatic como una fuente de datos importante de observaciones de la RS al aportar, aproximadamente, 10 veces más estaciones meteorológicas que la red oficial de AEMET en España.

2. Radiación Solar

Radiación Solar es el término utilizado para describir la energía que viaja desde el sol en forma de ondas electromagnéticas, del espectro electromagnético aprovechada en aplicaciones de energías renovables que utilizan la radiación solar está en el rango de 300nm a 4000nm de longitud de onda (Gueymard and Myers 2008).

2.1. Componentes de la Radiación Solar

El valor de radiación solar extraterrestre que incide sobre la superficie de la tierra en dirección de un plano normal es de 1367 W/m^2 . Este valor se denomina constante solar y se calcula en base a la distancia media del sol a la tierra (Harrouni 2008). Este valor de constante solar es el recomendado por la Organización Meteorológica Mundial y representa la irradiancia o el límite de máxima potencia que puede recogerse por unidad de superficie

procedente del sol (Gueymard 2004). Dado que al atravesar la atmosfera de la tierra parte de la energía se refleja por la presencia las nieves, vapor de agua, etc., y otra parte se dispersa o es absorbida por las moléculas de aire (Harrouni 2008), se distinguen las distintas componentes de la radiación solar.

Los tres componentes que forman la radiación solar global (denotada por la letra G) son la directa (denotada por la letra B), difusa (denotada por la letra D) y albedo (denotada por la letra R). La Radiación directa (B) es aquella que procede directamente de los rayos del sol sin haber sido dispersada, ni absorbida ni reflejada. La radiación difusa (D) procede desde la atmosfera por los efectos anteriormente mencionados y la radiación de albedo (R) es aquella reflejada por el suelo debido a edificios, masas de agua, montañas y etc. La suma de los tres componentes da lugar la radiación global (G) en un punto dado (Gueymard and Myers 2008).

En la figura 1 se muestran la incidencia de los tres componentes de la RS (B, D y R) sobre el árbol, la figura también ilustra como parte de la RS es dispersada y otra absorbida en la atmosfera mientras que otra parte es reflejada por las nieves.

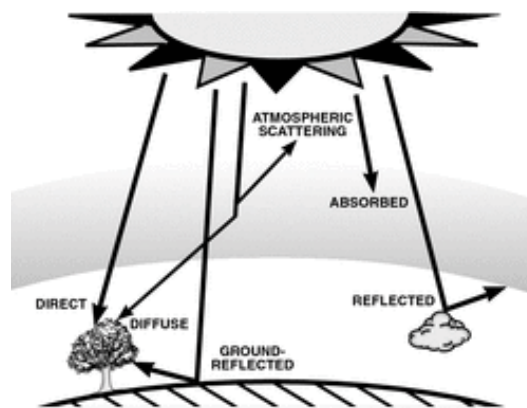


Figura 1. Componentes de la Radiación Solar. Fuente: www.newport.com

La radiación solar Global (G) que incide sobre un plano horizontal es la utilizada en el presente estudio por ser la que nos otorgan nuestros datos experimentales, este tipo de G de RS es además la más común en las bases de datos de radiación solar.

Los valores de radiación solar dependen de la latitud y el periodo del año. La variación diurna presenta su máximo valor al medio día, pero los efectos producidos por la cobertura nubosa pueden hacer variar los valores de RS a lo largo del día.

En el figura 2 se presenta la variación diurna de la irradiancia en el día 18 de Marzo de 2011 para el área alrededor del aeropuerto El-Prat en Barcelona, para las 3 fuentes de datos utilizadas en el presente estudio. Se puede apreciar que los mayores valores de irradiancia se encuentran alrededor del media día, también que aproximadamente entre las 12:15 horas y las 13:45 horas hay una caída en la curva lo cual se debe a la presencia de nubosidad.

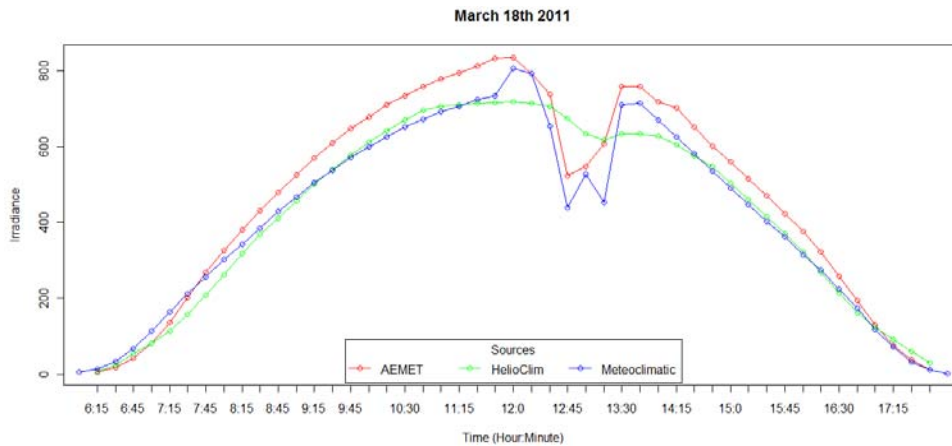


Figura 2. Variación diaria de la RS según HelioClim (estimaciones desde imágenes satelitales) y observaciones por estaciones en tierra (AEMET y Meteoclimatic) para el día 18 de Marzo de 2011 en los alrededores del aeropuerto El-Prat en Barcelona, España. Fuente: Producción propia.

2.2. Radiación Solar en el Ámbito de las Energías Renovables

Se ha demostrado que existe una relación directa entre el uso de los recursos energéticos y el desarrollo sostenible de una sociedad (Hepbasli 2008). En las sociedades modernas la utilización de las (*Renewable Energy Resources* - RERs) (energía solar, hidroeléctrica, eólica, geotérmica, biomasa entre otras) ha tomado fuerza como una de las soluciones a largo plazo con mayor potencial, sostenibles y más adecuada para ayudar a minimizar el impacto ambiental y solucionar los problemas ambientales actuales (Kaya 2006). Las grandes economías: USA, EU, entre otras, han definido objetivos en el uso de las RER a medio-largo plazo. USA tiene como meta conseguir que en el año 2030 el 20% de la energía eléctrica consumida proceda de la energía eólica (Toole and others 2010), y de forma similar, Europa ha fijado como objetivo que el 20% de la energía que se consuma proceda de fuentes renovables en el 2020 (European Economy News 2010). En España para conseguir ese objetivo, el 42% de la producción de energía eléctrica en el año 2020 debe proceder de fuentes renovables como la eólica y solar fotovoltaica (MITYC 2010), (IDEA 2011).

El principal problema de las fuentes de RER es su dependencia de las condiciones atmosféricas y climáticas de una región. Durante los días de invierno la ausencia de radiación solar se ve compensada con el viento y viceversa en el verano. Por tanto la planificación y el desarrollo de los sistemas de RER debe contemplar el uso simultáneo de diversas fuentes: eólica, solar-térmica, solar-fotovoltaica, etc., como evidencian varios estudios sobre la complementariedad de ambos RER (Hoicka and Rowlands 2011), (Li, Agelidis and Shrivastava 2009). El porcentaje de energía eólica que se produce en la geografía Española ha conseguido superarse a sí misma de forma sistemática en las épocas que este tipo de fuentes son más productivas (en Marzo 2011 la energía eólica generada en España alcanzó el 21% de su demanda), sin embargo aún queda un largo camino para conseguir que la energía solar fotovoltaica o eléctrica producida por fuentes térmicas-solares sea comparable a la eólica.

En este sentido, el conocimiento de la RS a nivel del suelo se puede aplicar en varias técnicas de explotación de la energía producida por el Sol. Se han realizado numerosos estudios sobre las formas de explotar la RS: la generación de energía eléctrica a partir de instalaciones solares fotovoltaicas (Sherwani, Usmani, Varun 2010), sistemas de energía termo solar (Chow 2010)(Apaza and others 2009), automóviles alimentados por energía

solar (Taha and others 2008), diseño fotovoltaico integrado en edificios (*Building Integrated Photovoltaic* - BIPV) (Brescia 2010)(Chemisana 2010) así como agricultura, silvicultura (Fu and Rich 2002) entre otros. El creciente número de aplicaciones de las energías renovables, y en especial de la energía solar está motivando un incremento en la demanda de información tanto de observación como de predicción de la RS.

Los mejores valores para caracterizar la Radiación Solar (RS) en una localización de la superficie es la que ofrecen las estaciones meteorológicas terrestres, sin embargo su cantidad y distribución geográfica dista bastante de ser lo suficiente densa (Polo, Zarzalejo, Ramírez 2008). Según Badescu (2008), la información sobre la RS procedente de las observaciones en tierra, es en términos generales menos abundante que para otras variables del medio ambiente y el clima atmosférico. Así este autor indica que en USA la relación entre el número de estaciones que miden la RS y las que registran la temperatura es aproximadamente de 1:100 y a nivel mundial se estima que dicha relación es del orden de 1:500. En España, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) dispone de 258 estaciones meteorológicas que ofrecen su información en tiempo cuasi-real (entre 2 y 3 horas de retraso) con intervalos entre observaciones de 10 minutos. Tan solo 23 estaciones registran la RS, lo que representa una proporción de 1:11 (AEMET 2011) e implica que las observaciones que se registran para el fenómeno de la RS a nivel oficial se concentran en lugares concretos. La estimación/cálculo de la RS mediante sensores remotos utilizando imágenes de satélites geoestacionarios se está convirtiendo en una fuente útil de información de RS a nivel del suelo (Polo, Zarzalejo, Ramírez 2008) que al generar Superficies de Irradiación Solar (*Solar Surface Irradiance* – SSI) presentan la ventaja de cubrir grandes áreas de forma homogénea. En contra tienen la desventaja de proporcionar valores de la RS menos exactos que las observaciones en tierra (Perez, Seals, Zelenka 1997) y son más adecuados para bajas resoluciones espacio-temporales (Umer, Kulik, Tanin 2010). Un ejemplo de este tipo de soluciones es el que utiliza las imágenes del satélite Meteosat para crear la base de datos de SSI HelioClim mediante el método HelioSat2 (HelioClim 2011). Esta base de datos SSI puede ser consultada mediante el servicio web “Sistema Inteligente de Base de Datos Solar” (*Solar Database Intelligent System* - SoDA-is) (SoDA-is 2011b). Otra solución alternativa consiste en la interpolación espacial de la RS observada por estaciones en tierra para obtener valores de la RS de forma continua sobre la superficie terrestre. El estudio de éste método ha demostrado que los errores son tolerables en un área de influencia cuyo límite se fija en los 25 Km de distancia (Zelenka and others 1999). En otros casos también se utilizan otras variables meteorológicas y fuentes de datos para simular los valores de la RS en lugares no observados. Este es el caso del modelo METSTAT (Maxwell 1998) que utilizando entre sus datos de entrada a la nubosidad para derivar la RS ha sido utilizado en la creación de la Base de Datos Nacional de Radiación Solar en USA (*National Solar Radiation Data Base*, NSRDB) (NREL 1992).

Algunos autores han analizado la calidad de los datos estimados frente a los observados en la superficie terrestre, llegando a la conclusión de que los mejores valores de la RS son los que se observan mediante estaciones meteorológicas en tierra (Polo, Zarzalejo, Ramírez 2008). Desde el punto de vista de los procesos de simulación para estimar del volumen de energía que están produciendo, o pueden producir, las instalaciones solares fotovoltaicas (*Solar Photovoltaic*, PV) se requiere el uso de datos meteorológicos representativos de la RS en superficie con periodos de muestreo inferiores a una hora (decenas de minutos) (Renné and others 2008). Estos hechos sugirieron la conveniencia de aumentar la densidad y distribución espacial de las observaciones procedentes de estaciones meteorológicas en tierra.

Una fuente de información alternativa para obtener observaciones de la RS puede ser la que procede de Información Geográfica generada por Voluntarios (*Volunteered Geographic Information* - VGI) como se propone en el presente estudio. El movimiento VGI ha surgido de modo paralelo al crecimiento de internet, de la Web 2.0 y se ha empezando a mostrar como una opción complementaria a las agencias de cartografía tradicionales (Goodchild 2007). Aunque una de las principales desventajas que presenta el movimiento VGI está relacionado con su credibilidad (Gouveia and Fonseca 2008), existen movimientos VGI populares. En Goodchild (2007b) se indican la cantidad de contribuciones registradas hasta el año 2007 en algunos VGI (Wikimapia, OpenStreetMap, GeoTags, entre otros) destacándose la importancia de su uso en aquella época. El movimiento VGI también ha calado en el ámbito de las estaciones meteorológicas, y actualmente existen varias redes que registran datos del clima y los comparten a través de internet (Meteoclimatic, Weather Underground, Weather Link, CWOP).

3. Investigación de la Aplicabilidad de Observaciones de Radiación Solar Procedentes de Estaciones Meteorológicas Voluntarias

3.1. Datos experimentales

El área de estudio para éste trabajo abarca a todo el territorio español tanto la península como los archipiélagos (Islas Baleares y Canarias). Los datos experimentales utilizados en este estudio proceden de 2 fuentes diferentes. El primer tipo son las estaciones meteorológicas en tierra que observan y registran los valores de RS en una localización concreta y pertenecen a las redes estaciones de AEMET y de Meteoclimatic. El segundo tipo proviene de la base de datos SSI HelioClim que contiene estimaciones de RS generadas a partir de las imágenes obtenidas por satélites geoestacionarios.

3.1.1. Valores de RS captadas por estaciones oficiales en tierra AEMET

Los datos de RS oficiales de referencia se obtienen desde la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de España, quien ofrece libremente sus datos meteorológicos desde finales de noviembre de 2010 a través de internet (<ftp://ftpdatos.aemet.es>) (AEMET 2010). Entre la información que ofrece AEMET (información de 200 estaciones que ofrecen sus observaciones en tiempo cuasi-real con un periodo entre observaciones de 10 minutos) este estudio se ha utilizado sólo los datos que ofrecen las 23 estaciones que registran la RS Global. Los metadatos de esta información indican que las series de datos han sido sometidas a controles de calidad automáticos en tiempo real, hecho que no garantizan la ausencia de errores.

La figura 3 muestra el histograma y el diagrama de cajas de las observaciones de la RS de AEMET entre los meses de Diciembre 2010 y Abril del 2011, ambos inclusive. Estas observaciones se han ido almacenando en nuestra Base de Datos para facilitar su análisis y explotación. El nº de observaciones analizadas en estas figuras asciende a 106.874. La línea negra que separa las dos cajas del diagrama de cajas y bigotes de la parte inferior representa la posición de la mediana (Q2), la caja de la izquierda representa los valores contenidos entre el primer cuartil (Q1) y la mediana. La caja de la derecha representa los valores contenidos entre la mediana y el tercer cuartil (Q3). Los brazos que se extienden por la izquierda hasta cero y desde Q3 hasta el límite donde empiezan a mostrarse un conjunto de puntos representan las observaciones adecuadas. Se puede apreciar que las observaciones presentan una cola fina en la parte derecha del histograma y que el diagrama de cajas y

bigotes muestra un conjunto de puntos sugiriendo la existencia de valores anómalos en la cola del histograma. En la figura 4(a) se presenta la distribución geográfica de las 23 estaciones (AEMET RS).

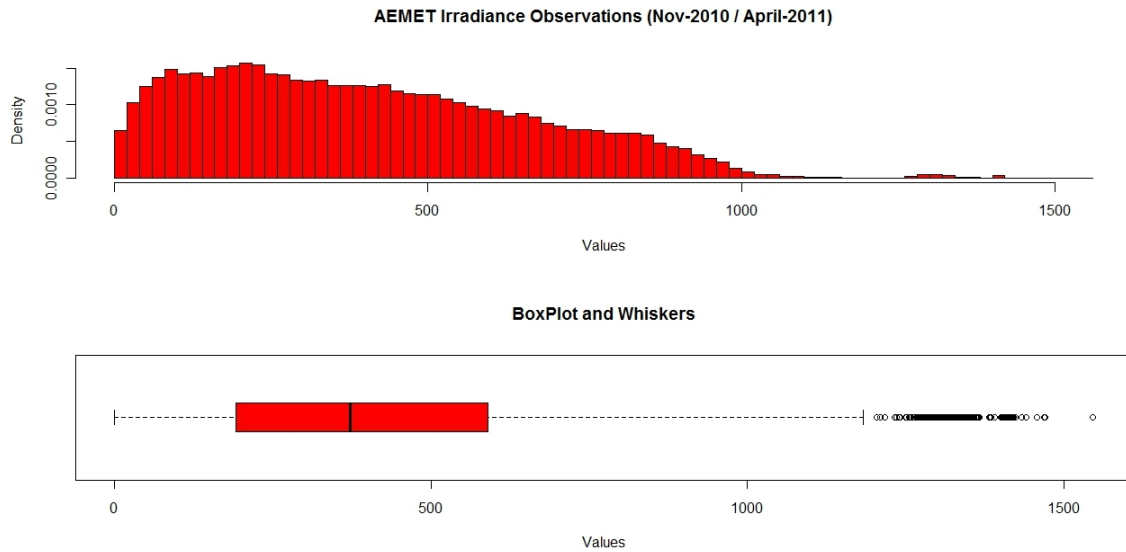


Figura 3. Representaciones de valores de irradiancia solar para observaciones en los minutos múltiples del 15 para la AEMET¹ como diagrama de histograma (parte superior) y diagrama de Cajas y Bigotes (parte inferior). Fuente: producción propia.

3.1.2 Valores de RS captados por estaciones en tierra de Meteoclimatic

Meteoclimatic es una red de estaciones meteorológicas no profesionales que ofrecen libremente y en tiempo real sus observaciones a través de internet con un periodo de muestreo agregado aproximado de 15 minutos siendo la máxima antigüedad de las muestras de 15 minutos (Meteoclimatic 2011a).

En la figura 4 (b) se muestra la distribución geográfica de las estaciones Meteoclimatic que registran observaciones de RS. Comparando ambas figuras 4(a) y 4(b) se puede apreciar la diferencia en cuanto a distribución y densidad de estaciones entre ambas redes.

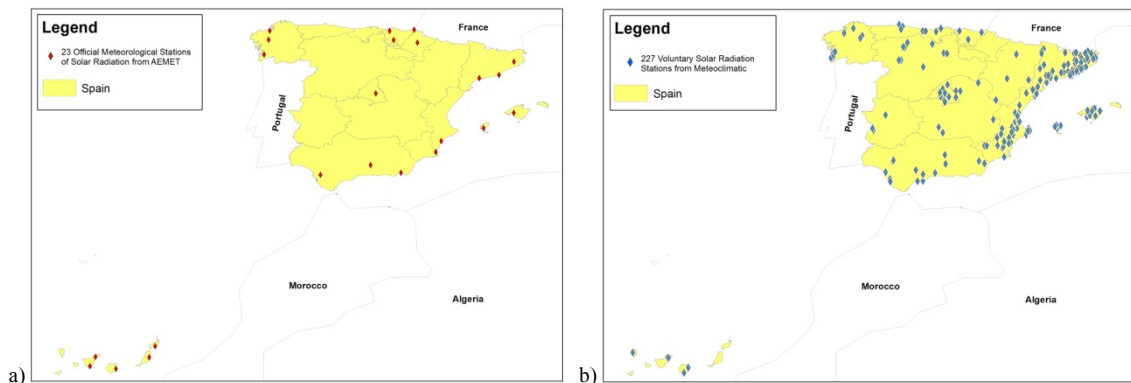


Figura 4. Distribución de las estaciones que observan la RS en el territorio Español. Figura (a) red oficial del estado AEMET y figura (b) red VGI piloto para este estudio Meteoclimatic. Fuente: producción propia.

¹ Las observaciones de los minutos 15 y 45 son consideradas observaciones cuando sus valores son interpolados desde las observaciones de los minutos 20 y 30 para el minuto 15. Para el minuto 45 cuando la interpolación proviene por observaciones de los minutos 40 y 50.

En la sección A-1 del Anexo se presentan dos tablas en las que se indica la fuente, ubicación, nombre, observaciones aportadas para cada una de las estaciones meteorológicas usadas en este estudio.

Hasta Mayo de 2011 el sitio web de Meteoclimatic (<http://www.meteoclimatic.com/index>) indicaba un total de 1457 estaciones registradas. Los datos pueden ser vistos y descargados a través de un servicio web que responde al mecanismo de sindicación de información RSS (<http://www.meteoclimatic.com/feed/rss/>). Para este estudio de la RS, no se ha podido utilizar la información que aporta la red por éste mecanismo ya que no todas las estaciones lo ofrecen y por tanto el responsable de la red no lo ofrece mediante este formato. Para suplantar esta carencia se ha desarrollado una aplicación que consulta de forma individualizada las páginas web que ofrece la red para cada estación y recoge esta observación de un modo artesanal. El número de estaciones que registran la RS Global asciende a un total de 227 estaciones. La información de calidad de los datos registrados por cada estación viene dado por la propia red mediante un sello Meteoclimatic de calidad. Este sello indica que la estación cumple unos requisitos mínimos de protección de los sensores, calibración de la presión atmosférica al nivel del mar entre otras (Meteoclimatic 2011b). Cuando un usuario da de alta a una nueva estación en Meteoclimatic, dicha estación se somete inmediatamente a un periodo de prueba, para que una vez se confirma su calidad se emita su sello de calidad. De igual modo, si Meteoclimatic detecta un problema en la estación, se reserva el derecho a dar de baja dichas estaciones.

La figura 5 se muestra el histograma y el diagrama de cajas de las observaciones de la RS captadas por la red VGI Meteoclimatic desde Mayo de 2010 hasta Abril de 2011 (ambos inclusive). El número de observaciones asciende a 1.587.909. Se puede apreciar que al igual que AEMET estas observaciones también presentan una cola fina hacia la derecha en el histograma y también su diagrama de cajas y bigotes muestra puntos sugiriendo valores anómalos al final de la cola del histograma. La principal y notable diferencia entre estos datos y los de AEMET es el pico en la primera barra del histograma contiguo al cero.

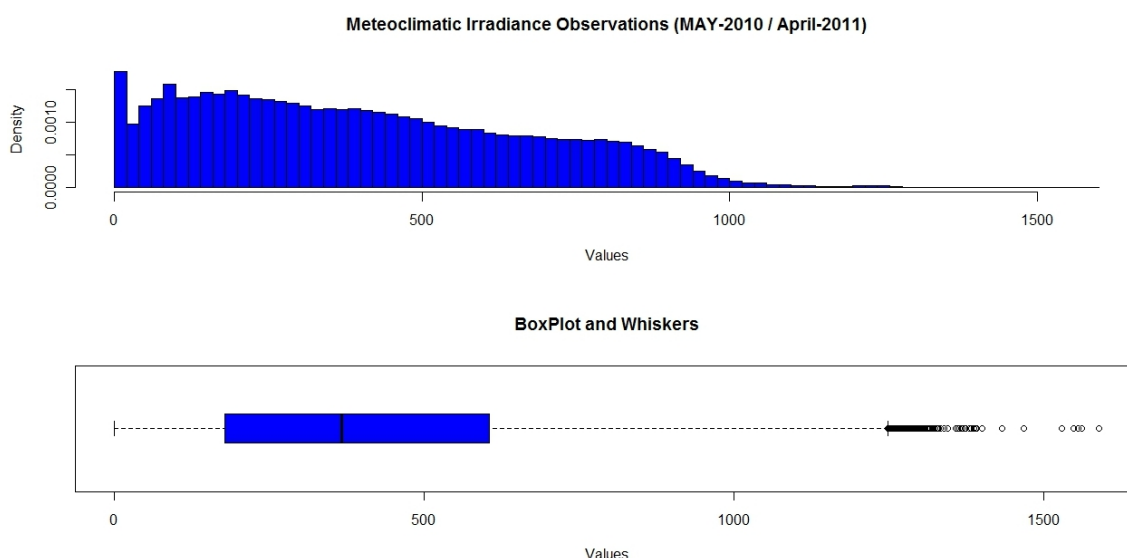


Figura 5. Representaciones de valores de irradiancia solar para observaciones en los minutos múltiples del 15 para la red Meteoclimatic² como diagrama de histograma (parte superior) y diagrama de Cajas y Bigotes (parte inferior). Fuente: producción propia.

² Debido a la irregularidad de observaciones de Meteoclimatic, se consideran observaciones a las interpolaciones en el tiempo de dos valores separados por una distancia inferior o igual a 20 minutos.

3.1.3 Estimaciones de RS derivadas por Satélite

Las estimaciones de RS derivadas a partir de imágenes de satélites geoestacionarios utilizadas en este estudio se obtuvieron a través del servicio web denominado *Solar Data Base Intelligent System* (Soda-is) el cual entrega valores de la Base de datos de SSI HelioClim que se genera mediante el método HelioSat.

La actual versión (2) del método HelioSat (HelioSat-2) estima la RS a nivel del suelo mediante el uso de dos imágenes de la parte del espectro visible (600 nm y 800 nm) obtenidas con una periodicidad de 15 minutos por el satélite geoestacionario Meteosat de Segunda Generación (*Meteosat Second Generation*, MSG). HelioSat-2 mezcla las dos imágenes normalizando el resultado de acuerdo al valor del sensor y a la elevación instantánea del sol generando una nueva imagen. Para calcular el valor de la RS al nivel de suelo de la base de datos HelioClim3 (HC3) el método considera que el pixel más blanco es el más nublado y calcula la proporción de nubosidad en cada pixel de la escena captada por el MSG comparándolo con el mismo valor de pixel cuando las condiciones son de cielo despejado. HelioSat-2 se ejecuta 1 vez al final de la noche utilizando las imágenes obtenidas durante el día, esto significa que aunque MSG entrega sus imágenes cada 15 minutos el mínimo plazo de entrega para HC3 es de 24 horas (SoDA-is 2011c).

Actualmente en Soda-is están disponibles datos de la versión 1 y versión 3 de la Base de Datos HelioClim. La versión 1 (HC1) contiene información de la RS desde 1985 hasta 2005 y no fue de interés para este trabajo. La versión 3 (HC3) contiene información de la RS desde 2004 hasta la actualidad generando nueva información cada día. En este trabajo se ha utilizado la versión 3 que se encuentra subdivida en 3 versiones y permite acceder a las series de RS tanto de la subversión 2 HC3v2 como de la subversión 3 HC3v3 desde el servicio web Soda-is, quien siguiere la utilización de HC3v2 sobre HC3v3 justificando que aun no existen documentos sobre la validación de la última (SoDA-is 2011b).

Soda-is provee valores de HC3v2 (al igual que HC3v3) para los distintos componentes de la RS (Global, Directa, Difusa) y en diferentes formas (como Irradiancia e Irradiación). La resolución temporal también se ofrece con varios niveles de granularidad: Anual, Mensual, Semanal, Diario, Hora y Sub-Horas. Los valores de la RS pueden ser obtenidos para distintas orientaciones del plano (horizontal, ángulo indicado de inclinación y normal). La resolución espacial de la estimación es aproximadamente de 4km x 4km en promedio para el territorio Español (SoDA-is 2011a). En este trabajo se utilizaron los valores de radiación global de HC3v2 para un plano horizontal.

En la parte superior de la figura 6 se muestra el histograma de las estimaciones de la RS a partir de imágenes de satélite proporcionada por HC3v2 desde Mayo de 2010 hasta Abril de 2011 (inclusive). El nº de observaciones analizadas para esta fuente de datos (HC3v2) es 1.916.110. En su parte inferior de la figura se muestra el diagrama de cajas y bigotes. Al comparar la distribución de éstas estimaciones de la RS respecto a las dos distribuciones anteriores (figuras 4 y 5: por observación de estaciones en superficie) destacan las siguientes diferencias:

- 1) No posee cola fina en la derecha del histograma
- 2) El diagrama de cajas y bigotes no muestra puntos que sugieran la presencia de valores atípicos en la distribución.
- 2) Las observaciones de menor valor van aumentando su densidad de forma paulatina formando una escalera, en la parte izquierda de la distribución, cercana al cero.

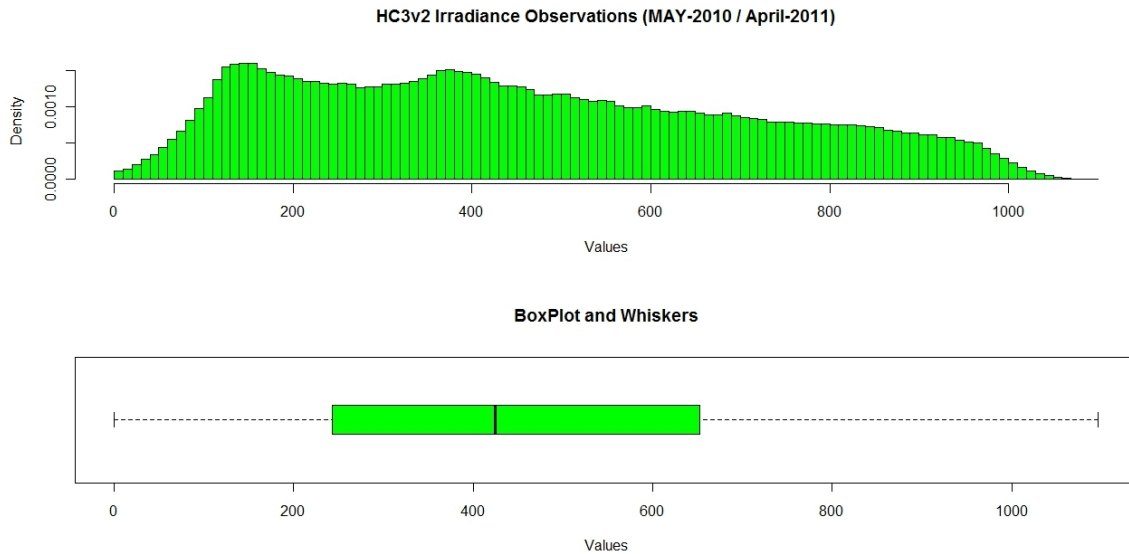


Figura 6. Representaciones de valores de irradiancia solar para observaciones en los minutos múltiplos del 15 de HC3v2 por estimaciones desde satélites como diagrama de histograma (parte superior) y diagrama de Cajas y Bigotes (parte inferior). Fuente: producción propia.

En la figura 7 se muestra la cobertura de la base de datos HelioClim. A simple vista se aprecia que cubre holgadamente toda la extensión del estudio. La figura 7 (a) muestra la radiación global sobre el plano horizontal durante el año 2010, de tal manera que los colores más cercanos al azul representan valores menores mientras que los más cercanos al rojo indican valores mayores. La figura 7 (b) muestra la resolución espacial de las estimaciones de RS debido al satélite Meteosat, se puede apreciar que el centro de la imagen tiene menor resolución 3km x 3km, mientras que en los extremos dicha resolución alcanza valores superiores a 12km x 12 km. Esto se debe a la característica geoestacionaria del satélite Meteosat: implicando que la resolución espacial varía de forma más o menos concéntrica a la posición central del satélite en la superficie terrestre.

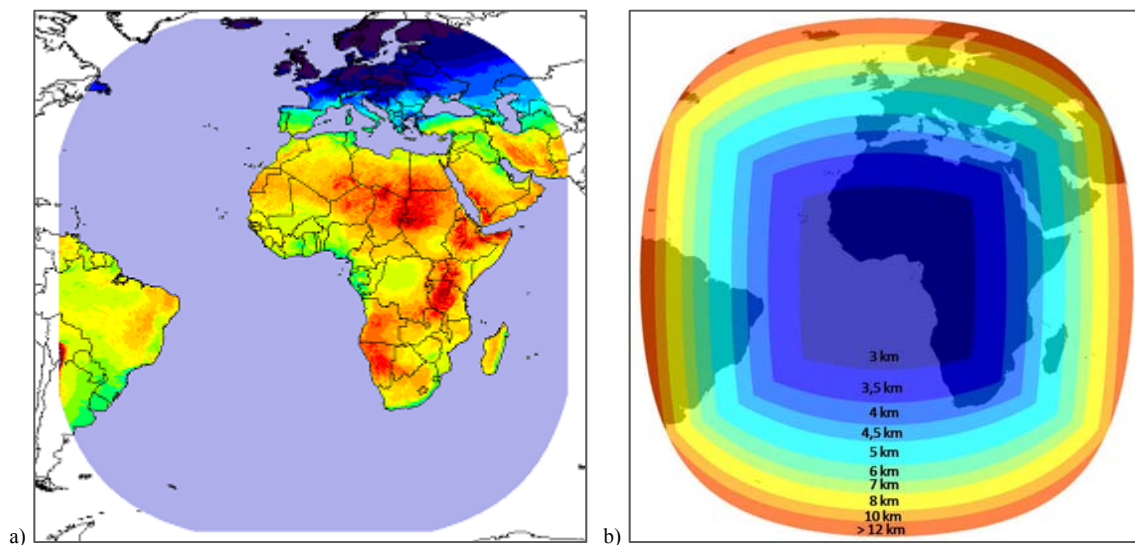


Figura 7. (a) Mascara rectangular con esquinas redondeada que muestra la cobertura de la base de datos HelioClim. (b) Variación de la resolución espacial de forma más o menos concéntrica a medida que se aleja de la correspondiente posición central del satélite en la superficie. Fuente: Soda-is el cual indica derechos de autor de Transvalor S.A.

3.2. Recursos utilizados y desarrollos de software

3.2.1. Hardware y Sistema de Base

- Servidor de Base de Datos y OGC:
 - Dos procesadores doble núcleo Intel Xeon E5320 de 1.86GHz cada uno.
 - 4 Gyga-Bytes de Memoria Principal.
 - 2.5 Tera-Bytes de Disco Duro.
 - Sistema Operativo de Base: Windows 2003 Server Enterprise Edition SP-2.
 - Sistema Administrador de Base de Datos: Oracle 10g (10.2).
 - GeoServer 2.0.2 para los servicios WFS-T.
 - Servicios de Descarga de RS desde AEMET.
 - Servicios de Descarga de RS desde Meteoclimatic.

- Servidor de Aplicaciones:
 - Procesador Intel Quad Q6600 2.4GHz (cuatro nucleos).
 - 4 Gyga-Bytes de Memoria Principal.
 - 500 Gyga-Bytes de Disco Duro.
 - Sistema Operativo de Base. Windows 2008 Server Enterprise Edition SP-2.
 - R-Statistics (D) COM Server 3.0-1B5.
 - Sistema para la descarga, fusión y análisis de datos de RS (DFaA_SR)

- Ordenador para el desarrollo de software y análisis estadístico:
 - Procesador Intel Dual-Core T4400 2.2GHz (doble nucleo) de 64 bits.
 - 4 Gyga-Bytes de Memoria Principal.
 - 300 Gyga-Bytes de Disco Duro.
 - Sistema Operativo de Base. Windows 7 Professional Edition 64-bits English.
 - Visual Studio 2010 Profesional. C# .NET 4.0.
 - ArcGIS 9.1Destop (ArcInfo).
 - ArcObjects SDK for the Microsoft .NET Framework.
 - R-Statistics (D) COM Server 3.0-1B5.
 - R-Statistics 2.11.1.

3.2.2. Software desarrollado

3.2.2.1. Servicios de Descarga de RS desde AEMET

Para automatizar la descarga y almacenamiento de la información recogida por las estaciones automáticas de AEMET, se ha desarrollado un servicio (demonio/programa residente) que se ejecuta con una periodicidad establecida. Este servicio explora el directorio de datos que publica AEMET y trata de descargar todos aquellos datos que aún no han sido tratados. Al descargar los datos, se descomprime el archivo, y se recorre de modo secuencial para ir analizando y almacenando cada línea. En cada línea aparece el identificador de la estación con sus coordenadas, la hora de comienzo de la observación y su duración, los distintos valores de las variables observadas (temperatura, presión, humedad, viento, y en algunos casos Radiación Solar). Toda esta información se vuelca en una base de datos Oracle, relacionando las observaciones con los datos de la estación. Una vez almacenados los datos en la BD, se facilita su acceso y explotación mediante servicios estandarizados OGC (WMS, WFS). El principal inconveniente de esta fuente de datos es el retardo que introduce AEMET en su publicación (aproximadamente 2-3 horas).

3.2.2.2 Servicios de Descarga de RS desde Meteoclimatic

La Red de Estaciones Meteorológicas de Voluntarios Meteoclimatic, agrega las observaciones realizadas por y las disemina mediante un servicio sindicación (RSS). De este modo cualquier usuario puede acceder de una forma sencilla a toda la información que recopila o puede seleccionar un grupo de estaciones agrupadas por comunidades autónomas o a nivel individual. El servicio RSS que ofrece Meteoclimatic, añade en el documento XML que codifica la información los datos referentes a la localización de las estaciones, aunque se ha detectado que las coordenadas que ofrece están truncadas en nº de decimales. En dicho documento se aportan las observaciones más comunes (temperatura, viento, precipitación, humedad o presión atmosférica), sin embargo la RS no aparece. Dado que bastantes estaciones registran esta variable y la ofrecen en la misma red en las páginas web que muestran su información, lo que se ha desarrollado es un servicio que periódicamente recoge la información del servicio RSS y para aquellas estaciones que registran la RS, accede a la página web en busca de su valor. Una vez que los datos han sido pre-procesados se almacenan en una base de datos Oracle y se ofrecen mediante servicios estandarizados OGC (WMS, WFS, SOS). El servicio es “listillo” y si detecta una nueva estación la da de alta en la base de datos, recoge las coordenadas de la página web (sin truncar), verifica si ofrece observaciones de RS y si lo hace lo anota, para que en posteriores observaciones se acceda para su consulta. El principal inconveniente de Meteoclimatic es que no ofrece datos registrados y almacenados, tan solo permite acceder a los últimos datos disponibles. Por esta razón este servicio debe consulta los datos con la frecuencia que Meteoclimatic los publica (15') en la web.

3.2.2.3 Sistema para la descarga, fusión y análisis de datos de RS (DFaA_SR)

El sistema DFaA_SR automatiza la mayor parte de los procedimientos necesarios para el desarrollo de la metodología utilizada en este estudio. Sus funcionalidades se pueden agrupar en 4 grupos como se muestra en la figura 8: (1) Recolección de series temporales de RS, (2) alineación temporal de las series y su carga en la Base de Datos (BD) que integra los valores de la RS desde las distintas fuentes, (3) Identificación de valores atípicos y (4) Cálculo de Errores por distintos tipos de agrupaciones.

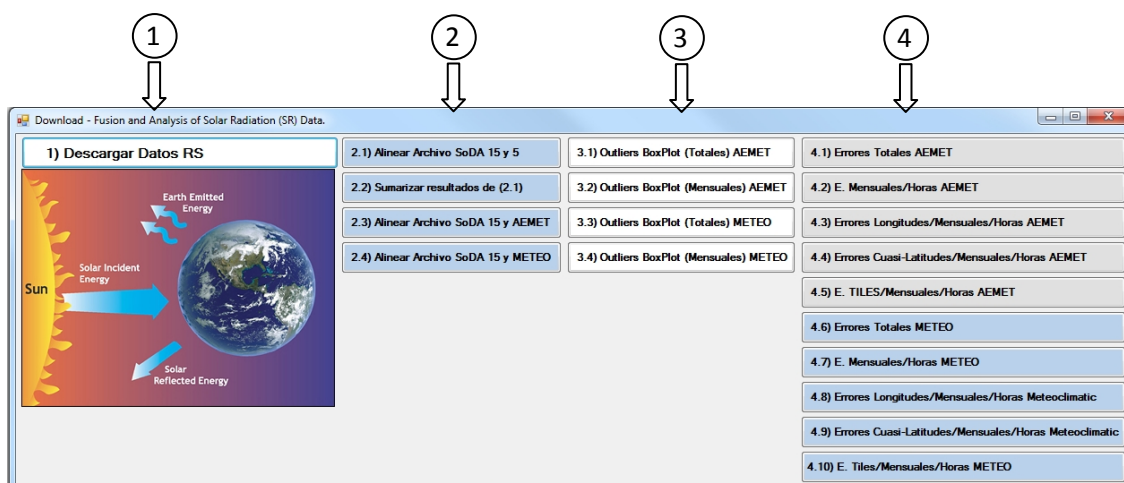


Figura 8. Menú principal del software para la Descarga, Fusión y Análisis de datos de RS (DFaA_SR). Los 4 tipos de funcionalidades del software se encuentran agrupadas por 4 columnas de opciones. Fuente: producción propia.

A continuación se resumen cada una de estas 4 funcionalidades.

1) Recolección de series temporales de RS

Inicialmente contempla 3 fuentes de series temporales RS (Soda-is, AEMET y Meteoclimatic) pero el diseño del software permite que con ligeras adaptaciones se puedan recolectar valores RS desde otras fuentes. Esta parte del software se corresponde con la sección de la metodología 3.3.1 Recolección y Carga de observaciones/estimaciones de la RS desde distintas fuentes.

Las series de la Base de datos HC3v2 de estimaciones de la RS por satélite se descargan desde el servicio web de Soda-is en forma de archivos de texto separados por comas. Las observaciones captadas por las estaciones meteorológicas de AEMET y de Meteoclimatic se descargan como archivos GML desde un servicio estandarizado WFS de la escuela de la ETSI en Topografía, Geodesia y Cartografía de la UPM.

En la figura 9 se presenta el interfaz de la aplicación que permite realizar las descargas de datos, así como seleccionar entre las distintas fuentes (Soda-is -o- Topografía). La interfaz se encuentra dividida en dos partes, en la parte superior está destinada a la descarga de las estimaciones HC3v2 desde el sitio de Soda-is y la parte inferior es para la descarga de observaciones desde el servicio WFS de Topografía ya sean de AEMET o Meteoclimatic. En la figura también se pueden apreciar algunas opciones necesarias para la descarga, como son el rango de fechas, el directorio de descarga y para el servicio Soda-is el periodo temporal de integración de la serie.

Figura 9. Formulario para la opción de Recolección de series temporales de RS (Descarga de datos).
Fuente: producción propia.

2) Alineación temporal de las series e integración de los datos de RS en la Base de Datos:

La alineación temporal de las series de datos se describe en la sección 3.3.2 de la metodología. Aquí el software realiza el tratamiento de los datos de la RS descargados desde las distintas fuentes para dejarlos en la misma unidad de tiempo sexagesimal, UTC y rellenar lagunas.

3) Opciones para la identificación de valores atípicos

La identificación de valores atípicos se corresponde con la sección 3.3.3, relativa a la detección de valores atípicos. Bajo estas opciones el software implementa el método para la detección de valores atípicos y su debida etiquetación en la BD para evitar utilizarlos en posteriores cálculos.

4) Calculo de errores atendiendo a distintos tipos de agrupaciones:

Estas agrupaciones espaciales y temporales hacen referencia a lo descrito en la sección 3.3.5. El software agrupa todos aquellos valores válidos (no etiquetados como atípicos) y calcula los errores relativos por cada grupo: (1) temporalmente en meses/horas, (2) espacialmente en franjas de longitudes, franjas de latitudes y celdas longitudes/latitudes y (3) sin ningún tipo de agrupación.

3.3. Metodología

El método desarrollado confronta la RS de las estimaciones por satélite de la HC3v2 obtenidas desde Soda-is con las observaciones de RS por las estaciones en tierra de AEMET y Meteoclimatic. En primer lugar se confronta la RS de las estimaciones HC3v2 con las observaciones de RS de las 23 estaciones de la red oficial de AEMET, seguidamente se procede al análisis de la bondad de las observaciones obtenidas por Meteoclimatic (red meteorológica VGI piloto) que aporta un buen número de estaciones/observaciones (un orden de magnitud más que la red oficial (227 frente 23).

Primeramente el método recolecta los valores de RS desde las 3 fuentes (HC3v2, AEMET y Meteoclimatic), luego realiza la alineación de las distintas series de datos para asegurar su correcta correspondencia temporal a medida que se cargan automáticamente los valores en la BD que fusiona las distintas fuentes de datos de RS. A continuación se procede a la detección de valores atípicos en 4 formas distintas: (1) Errores Absolutos de todos los valores, (2) Errores Absolutos de los valores agrupados por meses, (3) Errores Relativos de todos los valores y (4) Errores Relativos de los valores agrupados por meses. Finalmente se realiza el cálculo de los errores y estos se agrupan de forma temporal (meses/horas) y espacial (longitudes, pseudo-latitudes y celdas) que permite comprender el efecto de las direcciones este-oeste del recorrido del sol, norte-sur por la distorsión del satélite.

3.3.1. Recolección y Carga de RS datos desde distintas fuentes

Las series de datos de estimaciones de la RS por satélite de la Base de datos HC3v2 se descargan desde el servicio web de Soda-is (www.soda-is.com), este servicio web entrega la serie temporal de valores de RS para una posición X, Y en el periodo de fecha utilizando un formato de texto separados por comas (*Comma Separated Values* - CSV). El tiempo se expresa en minutos decimales y para observaciones con resolución temporal baja - como la que utilizamos en este estudio-, el intervalo de fechas no puede ser mayor a un mes. Lo anterior implica que se deben realizar un total de 250 solicitudes mensuales (227 por las posiciones de las estaciones Meteoclimatic y 23 por las estaciones de AEMET).

Las observaciones realizadas por las estaciones de AEMET y Meteoclimatic se descargan desde el servidor de Topografía, que ofrece de forma estandarizada los valores de ambas fuentes de datos mediante servicios OGC WFS y entrega archivos GML entre otros

formatos. Las series de datos obtenidas de ésta fuente de información tienen la particularidad de presentar carencia de datos (lagunas) en periodos de tiempo donde no se han producido observaciones o los datos se han perdido. Además las estaciones de la red Meteoclimatic registran las observaciones en la hora Local de la estación (UTC-1 y UTC-2) para el territorio Español.

3.3.2. Alineación temporal de las series de datos

Al disponer de 3 fuentes de datos iniciales para este estudio, cuya pauta temporal no coincide el primer paso que se ha realizado ha consistido en revisar y alinear temporalmente los valores de la RS. Esto permite asegurar que todos los juegos de datos estén en las mismas unidades de tiempo (minutos sexagesimales) y bajo el mismo formato horario (UTC), trabajando a nivel de minutos y buscando los instantes para los que existen intersecciones entre las observaciones/estimaciones de las distintas fuentes de datos. Así se puede garantizar que las series 3 series temporales (AEMET-HelioClim, Meteoclimatic-HelioClim) poseen las mismas dimensiones y su comparación es más sencilla.

Las estimaciones de la RS generadas a partir de imágenes de satélite (HelioClim-2, HC3v2) utilizan el formato de tiempo UTC. Sin embargo se observó la existencia de un desplazamiento de 5 minutos entre las series HC3v2 a 15 minutos respecto a la serie a 5 minutos que entrega el mismo servicio Soda-is. El desplazamiento encontrado confirma que la serie de 5 minutos está retrasada 5 minutos respecto a la de 15 minutos. O de forma contraria que la serie de 15 está adelantada en 5 minutos respecto a la de 5 (Gutierrez-Corea and Manso-Callejo 2011), significando lo anterior que los elementos (10, 25, 40 y 55) de la serie de 5 minutos son los que más se parecen a los elementos (15, 30, 45 y 60) de la serie de 15 minutos. Se decidió utilizar HC3v2 con intervalo de 15 minutos considerando que el satélite Meteosat entrega las en esa resolución temporal y en segundo lugar porque la serie de HC3v2, que entrega Soda-is, indica como atributo de los valores múltiplos del minuto 15 que la estimación se ha generado en base a las imágenes de satélite y no interpolaciones u otras técnicas.

Los datos de AEMET se encuentran en hora UTC. Se aplicó un proceso para generar valores interpolados en los minutos 15 y 45 con el objetivo de hacerlos coincidir con las observaciones en los mismos minutos en los que HC3v2 ofrece información estimada directamente de las escenas de satélite.

Los datos procedentes de la red VGI Meteoclimatic tuvieron que ser procesados para convertir la hora local en la zona de España donde fueron obtenidos a hora UTC (en función al horario local y el cambio de horario por verano en el calendario). Debido a que los datos de Meteoclimatic tienen una resolución temporal bastante variable aunque siempre sub-hora y a que los tiempo de entrega no son necesariamente múltiplos de 10 ni de 15 se realizaron interpolaciones para los minutos 15, 30, 45 y 60 con el objeto de hacerlos coincidir con el resto de observaciones (HC3v2 y AEMET).

Una vez que los datos, con los que se va a trabajar, han sido correctamente alineados e interpolados (si es necesario), se procedió a representarlos gráficamente a través de histogramas y diagramas de cajas y bigotes con el objetivo de facilitar la interpretación visual de los datos, las simetrías o simplemente la distribución de los datos.

3.3.3. Detección de valores atípicos

3.3.3.1. Valores observados y valores estimados

Dado que el propósito de este trabajo es comparar las observaciones de la RS realizadas a nivel de superficie con las obtenidas por estimación en base a imágenes de satélite, la primera operación de selección de valores a utilizar en éste proceso ha consistido en considerar solo aquellos datos etiquetados como Observados en la Base de Datos HC3v2.

En cuanto a las observaciones y los valores registrados por las estaciones en tierra se han considerado Observados tanto a los valores registrados por las estaciones meteorológicas como a todos aquellos valores que se han interpolado *linealmente* entre dos observaciones vecinas en el tiempo del dato para obtener valores alineados temporalmente de las estimaciones HC3v2 (minutos 15, 30, 45 y 60 de cada hora). Se ha tenido que tomar esta decisión principalmente por la falta de sincronía en los instantes y frecuencias de observación de la red Meteoclimatic ya que en muy pocos casos los tiempos son múltiplos del minuto 15 (a pesar de que las observaciones si pueden estar temporizadas cada 15, 10 minutos o inclusive menos). De esta forma si se dispone de observaciones para los minutos 7 y 22, se ha interpolado el valor para el minuto 15 y éste se considera una observación. En el caso de AEMET, que registra y entrega los datos de un modo síncrono y con una cadencia de 10 minutos (todos ellos múltiplos del minuto 10), también se interpolan linealmente los valores de la RS en los minutos 15 y 45 a partir de los minutos 10 y 20 en el primer caso y 40 y 50 en el segundo. Se desea resaltar que ésta operación de interpolación sólo se ha realizado si la separación entre dos observaciones es inferior a 20 minutos ha valor interpolado, en el resto de casos se ha desestimado interpolar dejando como valor de la observación (sin datos) para no considerarla.

3.3.3.2. Valores de la RS cuando el sol se encuentra bajo el horizonte

Otro filtro que se ha tenido que aplicar sobre los datos tiene que ver con las observaciones de la RS cuando es de noche (por debajo del horizonte). La BD de HC3v2 codifica las observaciones nocturnas mediante un valor que indica que el sol está bajo el horizonte. Las estaciones meteorológicas superficiales no lo hacen así, y en algunos casos registran valores de la RS distinto de 0 en la noche. Para evitar que estos datos perturben los estudios comparativos, se ha utilizado la información que publica el ministerio de fomento en relación con los horarios de salida y puesta del sol para las capitales de provincia (FOMENTO 2011) para marcar las observaciones validas atendiendo a este criterio. El método que se siguió fue observar las tabla de horarios de salida y puesta del sol de las capitales de provincias más extremas, transformar desde las horas locales hacia horario UTC los horarios ahí plasmados por cada mes utilizar el valor de la menor hora de salida del sol para las ciudades Palma de Mallorca en el extremo este y la mayor hora de puesta del sol para la ciudad del extremo oeste Santa Cruz de Tenerife. De esta forma se ha calculado con un criterio muy optimista y grosero los periodos del mes en que el sol está sobre el horizonte del territorio Español. En futuros trabajos se planea utilizar formulas astronómicas que toman en cuenta la longitud geográfica, el Angulo del sol y el día del año (Calendario Juliano) para hacer un cálculo más formal de éste periodo de luz.

3.3.3.3. Identificación de valores atípicos (Outliers)

Una vez alineados y depurados los datos que no eran observaciones (estaban fuera del periodo en que el sol está sobre el horizonte) se ha procedido a calcular las diferencias (errores) existentes entre las estimaciones de la RS mediante HC3v2 y su correspondiente valor de la RS por observaciones desde las estaciones meteorológicas a nivel de la superficie. A continuación se presenta la fórmula de este error:

$$Ea = \text{EstimacionPorSatelite} - \text{ObservacionEnTierra}$$

Formula. 1. Error entre Estimaciones y Observaciones de RS.

El error anterior (Formula 1) se normalizo en función al porcentaje que él representa respecto a la observación de la RS tierra nivel de superficie denominándolo error relativo (Er). Esta normalización se hace necesaria para que el análisis y los resultados finales de éste estudio puedan ser comparados con los resultados obtenidos por otros autores identificados en la literatura. A continuación se presenta la expresión resultante del error relativo:

$$Er = [(\text{EstimacionPorSatelite} - \text{ObservacionEnTierra}) * 100] / \text{ObservacionEnTierra}$$

- 0 -

$$Er = (Ea * 100) / \text{ObservacionEnTierra}$$

Formula. 2. Error relativo a la observación RS respecto a la diferencia entre estimaciones y observaciones.

Llegado este punto y a pesar de que los valores de la RS han superado los filtros previos (sol por encima del horizonte), los errores absolutos (Ea) y los relativos (Er) presentan valores que alteran los resultados finales por estar muy alejados de la distribución y simetría normal, hecho que ha motivado el estudio y detección de los valores anómalos. Para ello se ha utilizado el método de Cajas y Bigotes (Boxplot).

El método Boxplot, de forma resumida, ordena los valores de mayor a menor para calcular el primer (Q1) y tercer cuartil (Q3) a partir de los cuales se calcula el valor inter-cuartil (IQ = Q3 – Q1). Seguidamente se multiplica el valor IQ por -1.5 y se extiende un brazo hacia la izquierda partiendo desde la posición del Q1, también se multiplica el valor de IQ por 1.5 y se extiende un brazo a la derecha desde el valor de Q3. El recorrido entre de los límites de estos dos brazos y el rango IQ es considerado *Valla Interna* y todos los valores ahí contenidos se consideran válidos. El resto de valores no contenidos en la *Valla Interna*, se consideran valores atípicos leves (Croarkin and Tobias 2010). De este modo se pueden omitir tales valores en los siguientes procesos.

Con el propósito de no obviar las características de la RS que implican que los valores máximos/mínimos y la cantidad de observaciones para un día específico varían en función del periodo del año, se identificaron los valores atípicos bajo dos formas de agrupaciones en todos los casos para finalmente considerar valores válidos a todos aquellos que no fueron marcados como atípicos en ninguno de los casos.

3.3.3.3.1 Identificación de valores atípicos por diferencias entre Estimaciones/Observaciones

En primer lugar se identificaron los valores atípicos en función del error absoluto para las observaciones de AEMET y en segundo lugar para las estaciones Meteoclimatic.

Así para las 23 estaciones AEMET la fórmula 3 representa su error o discrepancia.

$$\mathbf{Ea-A = HC3v2 - ObservacionesAEMET}$$

Formula. 3. Error entre estimación RS por HC3v2 y observación de RS por AEMET.

La fórmula 4 lo hace para las 227 estaciones de la red Meteoclimatic.

$$\mathbf{Ea-M = HC3v2 - ObservacionesMETEO}$$

Formula. 4. Error entre estimación RS por HC3v2 y observación de RS por Meteoclimatic.

En la figura 10 se muestra el histograma y diagrama de cajas de bigotes de la distribución del error (Ea-A). En la parte derecha del histograma se aprecia una cola que representa los valores estimados de la RS con mayor magnitud que los observados por las estaciones en tierra. También se puede apreciar una fina cola hacia la izquierda que indica lo contrario. Los puntos de la parte izquierda y derecha de los brazos del diagrama de cajas y bigotes representan/identifican los valores atípicos. Se han encontrado 5.270 valores atípicos leves (4.93%) cuando se analizaron los datos conjuntamente y 5.225 (4.91%) cuando se analizaron los datos agrupados por meses (total de observaciones 106.874). En la tabla 1 se muestran otros estadísticos que surgen del cálculo de valores anómalos

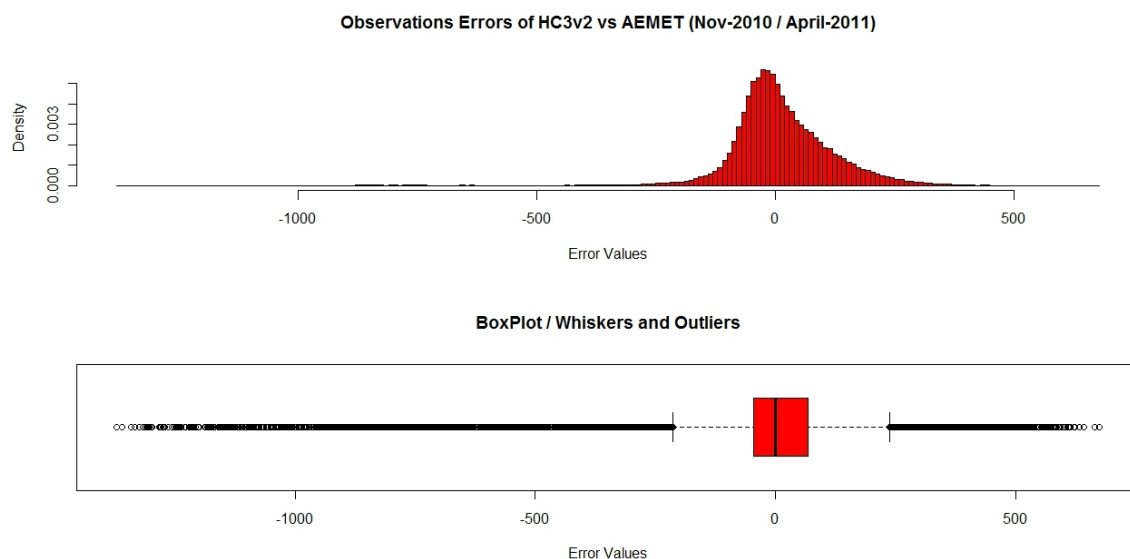


Figura 10. Errores entre todas las estimaciones de HC3v2 contra las observaciones AEMET. En la parte superior se muestra el histograma. En la parte inferior el diagrama de caja / brazos y los errores con valores atípicos. Fuente: producción propia.

En la tabla 1 se presentan los estadísticos para la distribución del error (Ea-A). La primera fila son los resultados del *Boxplot* para todas las observaciones en conjunto. A partir de la línea 2 en la se presentan los estadísticos para estos valores atípicos agrupados por mes (1

enero, 2 febrero, 12 diciembre). En la última fila de la tabla se totalizan los resultados de las agrupaciones mensuales y se puede apreciar que varían poco respecto a la identificación de valores atípicos sin clasificar por meses (primera línea).

Fuente	Mes	TOT	LIF	Q ₁	Q ₂	Q ₃	UIF	AL	AE
A-HC32	Todas Juntas	106'874 (100 %)	-214.17	-44.50	0.83	68.67	238.42	5'270 (4.93 %)	1'375 (1.28 %)
A-HC32	1	17'302	-199.07	-44.83	-0.83	58.00	212.24	589	97
A-HC32	2	19'201	-192.25	-49.00	-12.17	46.50	189.75	1'290	305
A-HC32	3	25'202	-228.92	-37.67	12.17	89.83	281.09	845	133
A-HC32	4	27'913	-205.07	-38.83	4.00	72.00	238.24	2'048	707
A-HC32	11	2'020	-249.02	-42.36	29.64	95.41	302.08	48	10
A-HC32	12	15'236	-245.09	-60.92	-5.64	61.86	246.03	435	160
		Suma	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Suma	Suma
A-HC32	Totales	106'874 (100 %)	-219.90	-45.60	4.52	70.60	244.90	5'255 (4.91 %)	1'412 (1.32 %)

Tabla 1. Resumen estadístico de los errores por observaciones entre HC3v2 y AEMET agrupados por juego de datos (compuestos por las columnas Fuente + Mes). El significado de las columnas es ([TOT]: Total de Observaciones; [LIF]: Valla Inferior Interna; [UIF]: Valla Superior Interna; [AL]: Cantidad de Valores Atípicos-Leves; [AE]: Cantidad de Valores Atípicos-Extremos). Fuente: producción propia.

La figura 11 muestra la distribución del error (Ea-M) para la red Meteoclimatic. La cola derecha del histograma indica que muchos valores de la RS estimadas por satélite son mayores que los valores observados en superficie. Los brazos del diagrama de caja y bigotes evidencian la existencia de muchos y muy variadas discrepancias entre los valores de la RS. Se han encontrado 117.503 (7.39%) valores atípicos de tipo leve cuando se analizó todo el juego de datos y 118.329 (7.45%) cuando se han analizado los datos agrupados por meses (total de observaciones 1.587.909). La tabla 2 muestra más estadísticos del cálculo de valores anómalos.

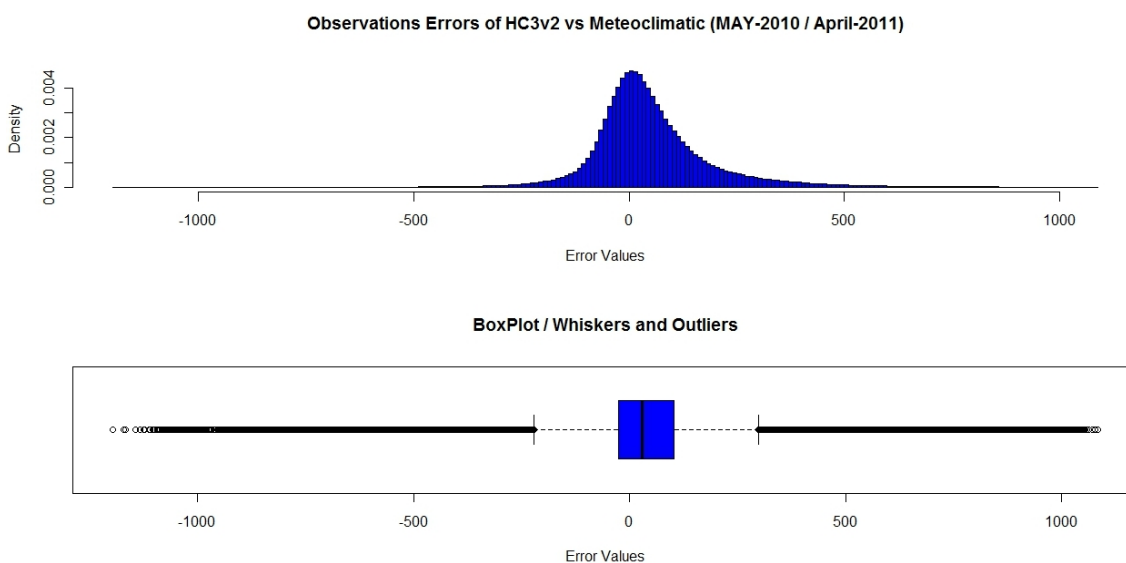


Figura 11. Errores entre todas las estimaciones de HC3v2 contra las observaciones Meteoclimatic. En la parte superior se muestra el histograma. En la parte inferior el diagrama de caja / brazos y los errores con valores atípicos. Fuente: producción propia.

A partir de la línea 2 de la tabla 2 se presentan los estadísticos para los valores atípicos agrupados por mes. En la última fila de la tabla se totalizan los resultados de las agrupaciones mensuales y se puede apreciar que varían poco respecto a la identificación de valores atípicos sin agrupación por meses (primera línea).

Fuente	Mes	TOT	LIF	Q ₁	Q ₂	Q ₃	UIF	AL	AE
M-HC32	Todas Juntas	1'587'909 (100 %)	-221.33	-26.13	29.00	104.00	299.20	117'503 (7.39 %)	30'783 (1.93 %)
M-HC32	1	99'437	-206.84	-36.06	13.19	77.78	248.56	5220	962
M-HC32	2	133'850	-207.68	-33.93	12.13	81.90	255.64	10928	3567
M-HC32	3	160'793	-238.83	-14.53	44.53	135.00	359.29	10019	2945
M-HC32	4	126'751	-224.91	-13.28	44.00	127.80	339.42	10442	3421
M-HC32	5	23'162	-279.69	-39.00	38.00	121.46	362.16	1673	335
M-HC32	6	175'574	-241.54	-30.50	33.40	110.19	321.24	16009	3722
M-HC32	7	175'168	-203.97	-11.75	48.19	116.39	308.62	15821	4481
M-HC32	8	176'222	-197.46	-17.12	33.66	103.09	283.43	17372	5070
M-HC32	9	158'300	-213.50	-26.00	24.00	99.00	286.50	12431	3317
M-HC32	10	147'193	-216.52	-30.00	19.26	94.34	280.87	9521	2154
M-HC32	11	117'696	-213.93	-36.93	11.40	81.06	258.06	5609	804
M-HC32	12	93'763	-227.00	-38.00	21.00	88.00	277.00	3284	210
		Suma	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Suma	Suma
M-HC32	Totales	1'587'909 (100 %)	-222.65	-27.25	28.56	103.00	298.39	118'329 (7.45 %)	30'988 (1.95 %)

Tabla 2. Resumen estadístico de los errores por observaciones entre HC3v2 Meteoclimatic agrupados por juego de datos (compuestos por las columnas Fuente + Mes). Significado de las columnas ([TOT]: Total de Observaciones; [LIF]: Valla Inferior Interna; [UIF]: Valla Superior Interna; [AL]: Cantidad de Valores Atípicos-Leves; [AE]: Cantidad de Valores Atípicos-Extremos). Fuente: producción propia.

En la figura 12 se presentan los histogramas de las distribuciones de los errores para las observaciones consideradas válidas (no son valores atípicos) para las estaciones AEMET (parte superior) y Meteoclimatic (parte inferior).

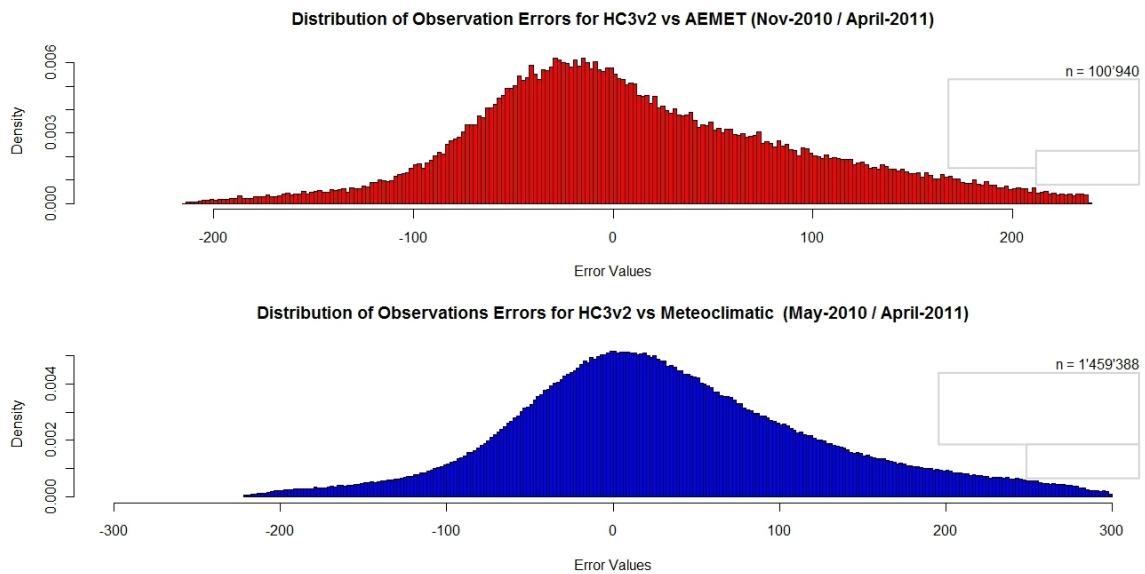


Figura 12. Histograma de los errores entre observaciones estimaciones por satélite (HC3v2) contra observaciones en tierra (AEMET, Meteoclimatic). Fuente: producción propia.

3.3.3.2 Identificación de valores atípicos por errores relativos entre Estimaciones/Observaciones

Aunque los últimos valores de errores presentados han superado los filtros previos de detección de valores atípicos, el análisis preliminar de los errores agrupados por horas ha permitido detectar anomalías en las primeras horas (incluso en los minutos del día solar). Para identificar dichas anomalías se ha vuelto a aplicar el método Boxplot sobre los errores relativos.

El error relativo para las 23 estaciones AEMET se presenta en la fórmula 5.

$$\mathbf{Er-A} = (Ea-A * 100) / \text{ObservacionesAEMET}$$

Formula. 5. Error relativo a la observación RS por AEMET de derivado de la Formula 2.

El error relativo para las 227 estaciones Meteoclimatic se presenta en la fórmula 6.

$$\mathbf{Er-M} = (Ea-M * 100) / \text{ObservacionesMeteoclimatic}$$

Formula. 6. Error relativo a la observación RS por Meteoclimatic derivado de la Formula 2.

En la figura 13 se muestra la distribución del error relativo para AEMET (Er-A). En la parte superior se presenta el histograma en el que sobresalen dos colas finas, una cola muy larga hacia la derecha la cual indica que muchos de los errores dan positivo por existir bastantes valores de la RS estimada por satélite que son muy superiores a los valores observados en superficie en relación los valores de superficie. La cola hacia la izquierda indica lo contrario. En la parte inferior de la figura se presenta el diagrama de cajas y bigotes donde los puntos en la parte izquierda y derecha de los brazos representan/identifican los valores atípicos. Se han encontrado 12.227 (11.44%) de valores atípicos de tipo leve cuando se

analizó todo el juego de datos y 12.882 (12.05%) cuando se analizaron los datos agrupados por meses (total de observaciones 106.874). La tabla 3 muestra más estadísticos del cálculo de valores atípicos.

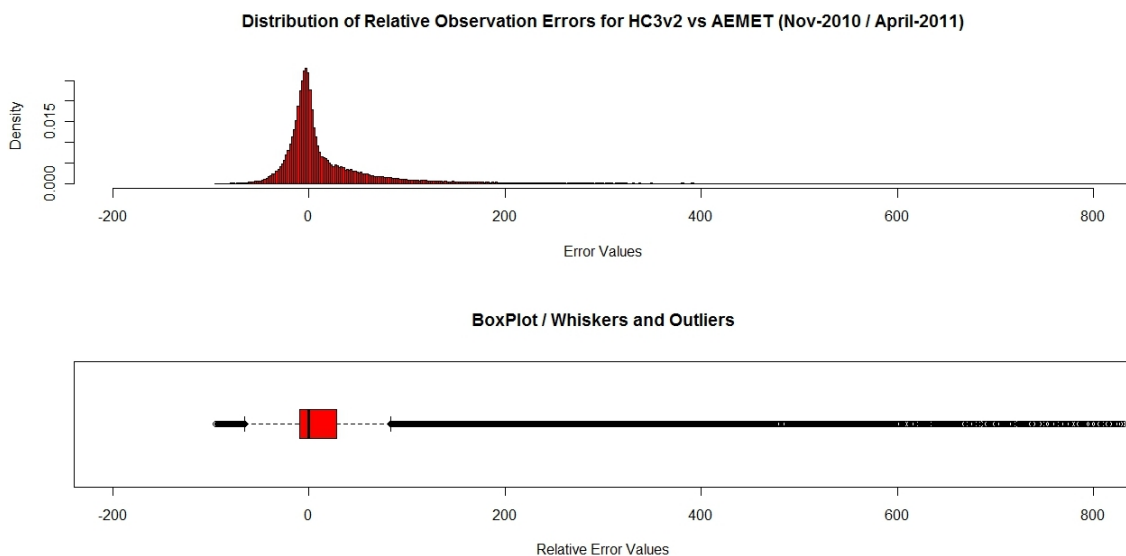


Figura13. Histograma de errores relativos entre observaciones HC3v2 contra AEMET.
Fuente: producción propia.

A partir de la 2ª línea de la tabla 3 se presentan los estadísticos para estos valores atípicos agrupados por mes. En la última fila de la tabla se totalizan los resultados de las agrupaciones mensuales y se puede apreciar que varían poco respecto a la identificación de valores atípicos sin agrupación por meses (primera línea).

Fuente	Mes	TOT	LIF	Q ₁	Q ₂	Q ₃	UIF	AL	AE
A-HC32	Todas Juntas	106'874 (100 %)	-73.91	-10.04	0.18	32.53	96.40	12'227 (11.44 %)	6'261 (5.85 %)
A-HC32	1	17'302	-85.09	-12.18	-0.22	36.42	109.33	1'735	912
A-HC32	2	19'201	-57.19	-11.20	-2.76	19.45	65.45	2'779	1'474
A-HC32	3	25'202	-80.94	-7.49	2.61	41.46	114.90	2'673	1'452
A-HC32	4	27'913	-52.80	-7.11	0.69	23.33	69.01	4'114	1'922
A-HC32	11	2'020	-172.99	-14.14	18.09	91.76	250.61	202	112
A-HC32	12	15'236	-100.86	-17.19	-1.76	38.58	122.263	1'380	736
		Suma	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Suma	Suma
A-HC32	Totales	106'874 (100 %)	-91.64	-11.55	2.77	41.83	121.92	12'883 (12.05 %)	6'608 (6.18 %)

Tabla 3. Resumen estadístico de los errores relativos por observaciones entre HC3v2 y AEMET agrupados por juego de datos (compuestos por las columnas Fuente + Mes). Significado de las columnas ([TOT]: Total de Observaciones; [LIF]: Valla Inferior Interna; [UIF]: Valla Superior Interna; [AL]: Cantidad de Valores Atípicos-Leves; [AE]: Cantidad de Valores Atípicos-Extremos). Fuente: producción propia.

En la figura 14 se muestra la distribución del error relativo para Meteoclimatic. En la parte superior se muestra el histograma en el que sobresalen dos colas finas, una cola muy larga

hacia la derecha que indica que muchos de los errores dan positivo por existir bastantes estimaciones de la RS por satélite mucho más grandes que las observaciones en superficie comparados porcentualmente. La cola hacia la izquierda indica lo contrario. En la imagen inferior de la figura se presenta el diagrama de cajas y bigotes donde los puntos de la parte izquierda y derecha de los brazos representan los valores atípicos identificados. Se han encontrado 181.738 (11.78%) de valores atípicos de tipo leve cuando se analizó todo el juego de datos y 190.174 (11.97%) cuando se analizaron los datos agrupados por meses (total de observaciones 1.587.909). La tabla 4 muestra más estadísticos del cálculo de valores atípicos.

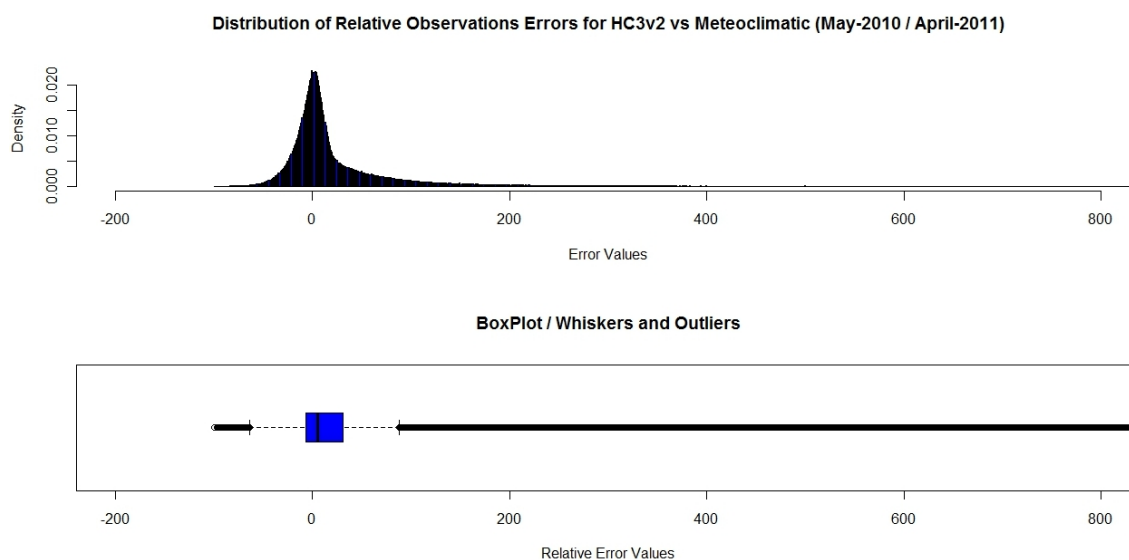


Figura 14. Histograma de errores relativos entre estimaciones HC3v2 contra observaciones AEMET.
Fuente: producción propia.

A partir de la 2ª línea de la tabla 4 se presentan los estadísticos para estos valores atípicos agrupados por mes. En la última fila de la tabla se totalizan los resultados de las agrupaciones mensuales y se puede apreciar que varían poco respecto a la identificación de valores atípicos sin agrupación por meses (primera línea).

Fuente	Mes	TOT	LIF	Q ₁	Q ₂	Q ₃	UIF	AL	AE
M-HC32	Todas Juntas	1'542'357 (100 %)	-77.06	-6.82	5.93	40.00	110.23	181'738 (11.78%)	99'114 (6.42 %)
M-HC32	1	95'542	-97.20	-11.60	3.38	45.45	131.04	9'161	5'004
M-HC32	2	128'897	-70.89	-8.84	2.29	32.52	94.57	16'128	9'409
M-HC32	3	154'627	-117.05	-3.87	10.91	71.58	184.77	14'821	7'722
M-HC32	4	121'922	-76.90	-3.35	8.16	45.67	119.22	14'046	7'740
M-HC32	5	22'758	-70.22	-7.59	6.28	34.15	96.79	2'684	1'403
M-HC32	6	173'985	-68.77	-6.49	5.74	35.03	97.31	24'008	13'248
M-HC32	7	172'268	-42.32	-2.62	7.94	23.84	63.54	28'087	16'237
M-HC32	8	172'643	-44.85	-3.99	5.87	23.25	64.12	28'035	16'135
M-HC32	9	154'117	-65.76	-6.15	4.63	33.58	93.19	19'650	10'681
M-HC32	10	142'234	-82.92	-7.92	4.17	42.06	117.06	14'557	7'225

Fuente	Mes	TOT	LIF	Q ₁	Q ₂	Q ₃	UIF	AL	AE
M-HC32	11	113'819	-100.66	-11.25	2.67	48.36	137.77	10'554	5'124
M-HC32	12	89'545	-130.16	-13.38	7.45	64.47	181.26	8'443	4'328
		Suma	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Promedio	Suma	Suma
M-HC32	Totales	1'587'909 (100 %)	-80.64	-7.25	5.79	41.66	115.05	190'174 (11.97 %)	104'256 (6.56 %)

Tabla 4. Resumen estadístico de los errores relativos por observaciones entre HC3v2 Meteoclimatic agrupados por juego de datos (compuestos por las columnas Fuente + Mes). Significado de las columnas ([TOT]: Total de Observaciones; [LIF]: Valla Inferior Interna; [UIF]: Valla Superior Interna; [AL]: Cantidad de Valores Atípicos-Leves; [AE]: Cantidad de Valores Atípicos-Extremos). Fuente: producción propia.

Para evitar el uso de los valores atípicos identificados anteriormente surgieran al combinar las series de datos (HC3v2 vs AEMET) o (HC3v2 vs Meteoclimatic) han sido debidamente marcados en la base de datos. Se han considerado valores válidos todos aquellos que no poseen ninguna de las 4 marcas *outliers*:

- (a) Diferencia de observaciones sin agrupar.
- (b) Diferencias de observaciones agrupadas por mes.
- (c) Error relativo sin agrupar.
- (d) Error relativo agrupados por mes.

3.3.4. Agrupaciones espaciales

Con el propósito de analizar el efecto de la localización de las estaciones en el cálculo de los errores entre la estimación de la RS por Satélite y las observaciones de la RS por estaciones en tierra en sus valores relativos, se han agrupado los datos espacialmente de tres formas distintas. En primer lugar una agrupación por la componente Este-Oeste de la localización (longitudes geográficas agrupadas -20°, -15°, -10°, -5°, 0° y 5° -ver figura 15) tratando de seguir el recorrido Este-Oeste del sol. En segundo lugar por la componente Norte-Sur de la localización (latitudes geográficas agrupadas por las latitudes que producen resoluciones espaciales de 3,5 Km, 4 Km y 4,5Km -ver figura 16) registradas por el satélite Meteosat. Finalmente por las celdas formadas por las intersecciones de las divisiones anteriores (ver figura 17).

3.3.4.1. Agrupación Este-Oeste cada 5° de longitud

Considerando la amplitud del territorio español y el recorrido (aproximadamente 22° de arco) en las longitudes de las estaciones meteorológicas en superficie -con las ubicaciones más extremas del territorio- (-18° longitud de la estación más al oeste en las Islas Canarias y 3.4° de longitud positiva en la estación más al este en las islas Baleares) y para analizar si ésta longitud afecta al cálculo de los errores relativos -por la variación de la posición del sol en los puntos extremos en la misma hora UTC-, se ha procedido a agrupar los datos en intervalos de 5 grados de longitud.

En la tabla 5 de cuantifica el número de estaciones meteorológicas de cada fuente (AEMET o Meteoclimatic), así como los valores de la longitud utilizados para la división del territorio. La figura 15 se presenta la distribución de estaciones para cada fuente en los intervalos definidos en la anterior tabla.

Fuente de datos	-20 a -15	-15 a -10	-10 a -5	-5 a 0	0 a 5	Total de Ubicaciones
AEMET	3	2	4	9	5	23
Meteoclimatic	6	0	28	74	119	227

Tabla 5. Cantidad de estaciones agrupadas en las franjas de 5 grados de longitud a lo largo del territorio Español. Fuente: producción propia.

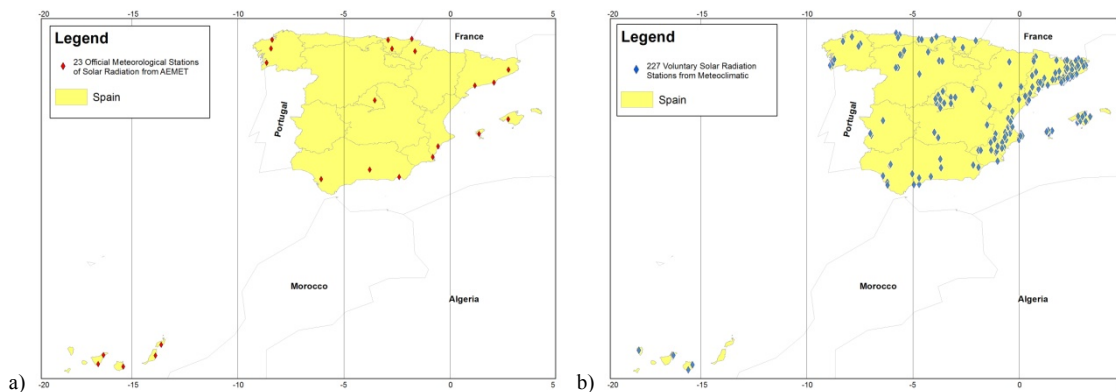


Figura 15. Distribución de las estaciones agrupadas en franjas de 5 grados de longitud a lo largo del territorio Español. Figura (a) red oficial del estado AEMET y figura (b) red VGI piloto para este estudio Meteoclimatic. Fuente: producción propia.

3.3.4.2. Agrupación Norte-Sur atendiendo a la resolución espacial de las imágenes del satélite Meteosat

Con el propósito de analizar si la variación de la resolución de las imágenes del satélite Meteosat (usado en el método HelioClim para estimar la RS) tiene algún efecto en los errores relativos de la RS, se han agrupado los datos atendiendo al segundo criterio espacial. Éste consta de 3 franjas más o menos próximas a los paralelos de latitudes (32°, 38° y 42°) Norte, aunque no sea una solución estricta. El criterio que ha motivado la selección de estas franjas ha sido la variación de la resolución espacial de dicho satélite.

En la tabla 6 se muestra la cantidad de estaciones meteorológicas clasificadas en cada región en función de la fuente (AEMET o Meteoclimatic). En la figura 16 se muestran las estaciones en tierra consideradas en este trabajo (en color Rojo las estaciones de AEMET y en Azul las estaciones de Meteoclimatic) superpuestas sobre el mapa de variación de la resolución espacial de HC3v2, también se muestran las tres franjas divisorias. La figura (a) presenta esta información sobre toda el área de influencia el satélite y la figura (b) hace un acercamiento de (a) sobre el ámbito de estudio resaltado las 3 franjas divisorias.

Fuente de datos	3.5 km	4 km	4.5 km	Total de Ubicaciones
AEMET	5	6	12	23
Meteoclimatic	6	70	151	227

Tabla 6. Cantidad de estaciones agrupadas en las 3 franjas de variación de la resolución espacial del satélite a lo largo del territorio Espalo. Fuente: producción propia.

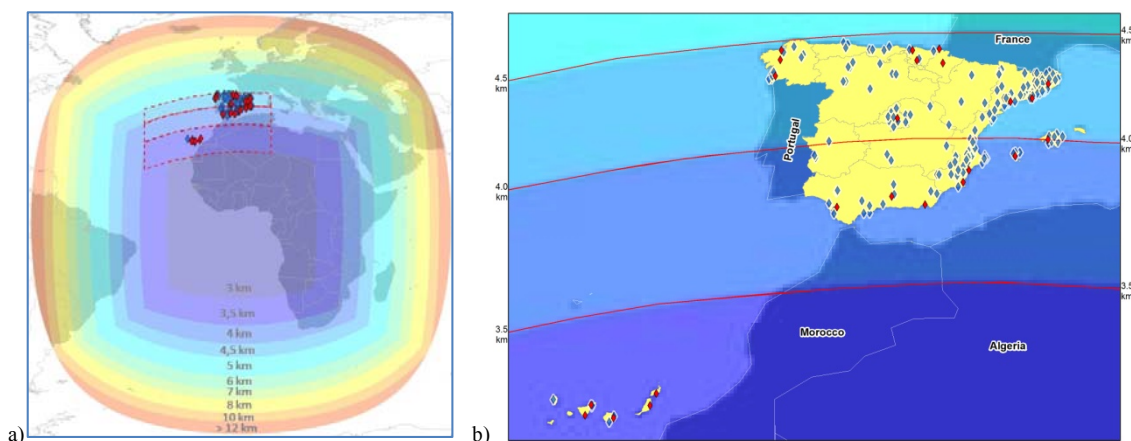


Figura 16. Distribución de las estaciones agrupadas en las franjas de variación de la resolución espacial del satélite. Figura (a) toda el área de influencia del satélite (b) acercamiento al territorio Español.
Fuente: producción propia adaptada desde Soda-is el cual indica derechos de autor de Transvalor S.A.

3.3.4.3. Agrupación por las celdas que definen las longitudes y las pseudo-latitudes

Previendo que el análisis de los errores relativos de las observaciones y la estimación de la RS pudieran depender conjuntamente de la longitud y de la latitud de las estaciones, se ha procedido a clasificar las estaciones y sus RS por ambos criterios, dando lugar a una retícula con 15 celdas. De todas ellas sólo ha sido necesario considerar las 8 que afectan al territorio nacional Español.

En la tabla 7 se muestra la cantidad de estaciones meteorológicas clasificadas en cada celda en función de la fuente (AEMET o Meteoclimatic). La figura 17 muestra gráficamente en forma de mapa tanto las celdas con las 23 estaciones de AEMET (a) como las 227 estaciones de Meteoclimatic (b).

Fuente de datos	Celda A	Celda B	Celda C	Celda D	Celda E	Celda F	Celda G	Celda H	Total de Ubicaciones
AEMET	4	1	5	4	3	1	2	3	23
Meteoclimatic	103	16	30	44	18	10	0	6	227

Tabla 7. Cantidad de estaciones agrupadas en celdas compuestas por 5 grados de longitud a lo largo del territorio Español y las franjas por variación de la resolución espacial del satélite. Fuente: producción propia.

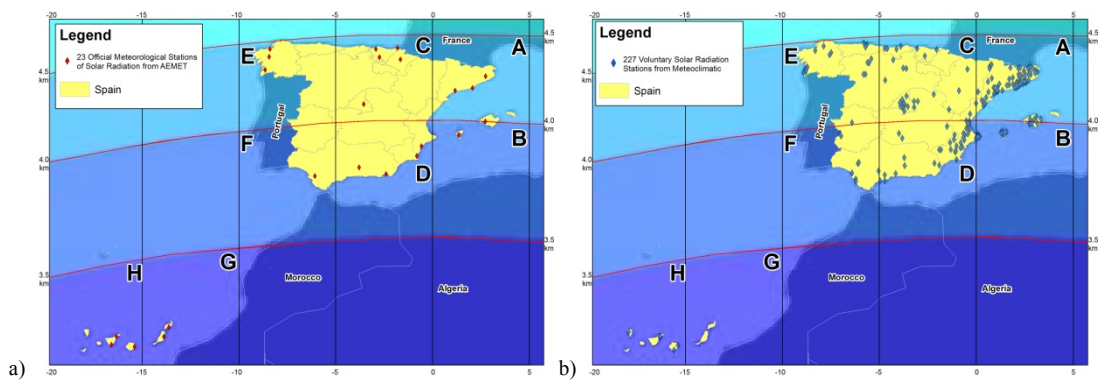


Figura. 17. Distribución de las estaciones agrupadas en celdas compuestas por 5 grados de longitud a lo largo del territorio Español y las franjas por variación de la resolución espacial del satélite. Figura (a) red oficial del estado AEMET y figura (b) red VGI piloto para este estudio Meteoclimatic. Fuente: producción propia.

3.3.5. Agrupaciones temporales

Considerando que los valores máximos, mínimos y cantidad de observaciones de la RS varían en función del día (del año), se han agrupado los datos mensualmente. Un segundo nivel de agrupamiento temporal se ha realizado por horas. De esta manera se ha estudiado el comportamiento del error relativo en los distintos periodos de luz del día por cada mes.

4. Resultados

4.1. Valores validos

La identificación de los valores atípicos para las dos combinaciones de datos (HC3v2 versus AEMT) y (HC3v2 versus Meteoclimatic) nos ha permitido conocer qué la cantidad de *outliers* no varía de forma significativa al agrupar la información mensualmente (i) o sin agruparla temporalmente (ii).

La agrupación de las diferencias entre las observaciones en superficie y las estimaciones por satélite y el análisis de los valores anómalos en su forma absoluta (iii) y en la relativa (iv) si han arrojado resultados destacables. Así por ejemplo en el caso de AEMET el porcentaje de valores anómalos detectados ha pasado de representar el 4.92% a suponer el 11.75%. Para Meteoclimatic estos porcentajes han pasado de representar el 7.42% a suponer el 11.88%. En la tabla 8 se muestra un resumen del resultado de detección de valores atípicos según las distintas agrupaciones.

Fuente de datos	Tipo de Error	Agrupado por Mes	Cantidad de valores atípicos	Porcentaje del total de Observaciones	Total de observaciones
HC3v2 vs AEMET	Ea-A	No	5'270	4.93 %	106'874
HC3v2 vs AEMET	Ea-A	Si	5'225	4.91 %	106'874
HC3v2 vs AEMET	Er-A	No	12'227	11.44 %	106'874
HC3v2 vs AEMET	Er-A	Si	12'882	12.05 %	106'874

Fuente de datos	Tipo de Error	Agrupado por Mes	Cantidad de valores atípicos	Porcentaje del total de Observaciones	Total de observaciones
HC3v2 vs Meteoclimatic	Ea-M	No	117'503	7.39 %	1'587'909
HC3v2 vs Meteoclimatic	Ea-M	Si	118'329	7.45 %	1'587'909
HC3v2 vs Meteoclimatic	Er-M	No	181'738	11.78 %	1'587'909
HC3v2 vs Meteoclimatic	Er-M	Si	190'174	11.97 %	1'587'909

Tabla 8. Cantidad de estaciones agrupadas en las franjas de 5 grados de longitud a lo largo del territorio Espalo. Fuente: producción propia.

Las graficas de densidad de dispersión de las estimaciones de la RS por satélite (eje x) y las observaciones por estaciones en tierra (eje y) presentadas en las figuras 18 y 19 muestran gráficamente la efectividad de haber identificado los *outliers* tanto al comparar HC3v2 frente a AEMET (iii) como de HC3v2 frente a Meteoclimatic (iv) respectivamente.

Las figuras18(a) y 19(a) muestran la densidad y dispersión de todas las estimaciones/observaciones y se puede apreciar que aunque la mayoría de los puntos se concentran cerca de la línea de regresión, existen muchos puntos dispersos y alejados formando una nube ancha.

Las figuras18(b) y 19(b) muestra la densidad y dispersión de aquellas estimaciones/observaciones que no fueron etiquetadas por el error de la diferencia entre Estimación por satélite y Observación por estaciones en tierra. En ésta imagen se puede observar cómo la nube está más concentrada en torno a la línea de regresión que en (a), así como que esta nube es un poco menos ancha por haber desaparecido los puntos que más se alejaban.

Las figuras18(c) y 19(c) muestra la densidad de dispersión de todas aquellas estimaciones/observaciones consideradas finalmente como válidas y son todas aquellos valores que no han sido etiquetadas como ningún tipo de valor atípico. Se puede apreciar cómo esta figura forma una especie de punta en la nube cerca del origen de la recta de regresión. Entendemos que esto se debe a que la identificación de *outliers* por errores relativos elimina todas aquellas estimaciones/observaciones en los que el satélite ha empezado a registrar la RS del inicio del día mientras que las estaciones en tierra registran cero o un valor muy cercano al cero. En estos casos se genera un gran error relativo positivo con una variación absoluta entre estimación/observación no necesariamente grande por lo que los procesos (i) y (ii) utilizados para la identificación de *outliers* no los pudieron detectar.

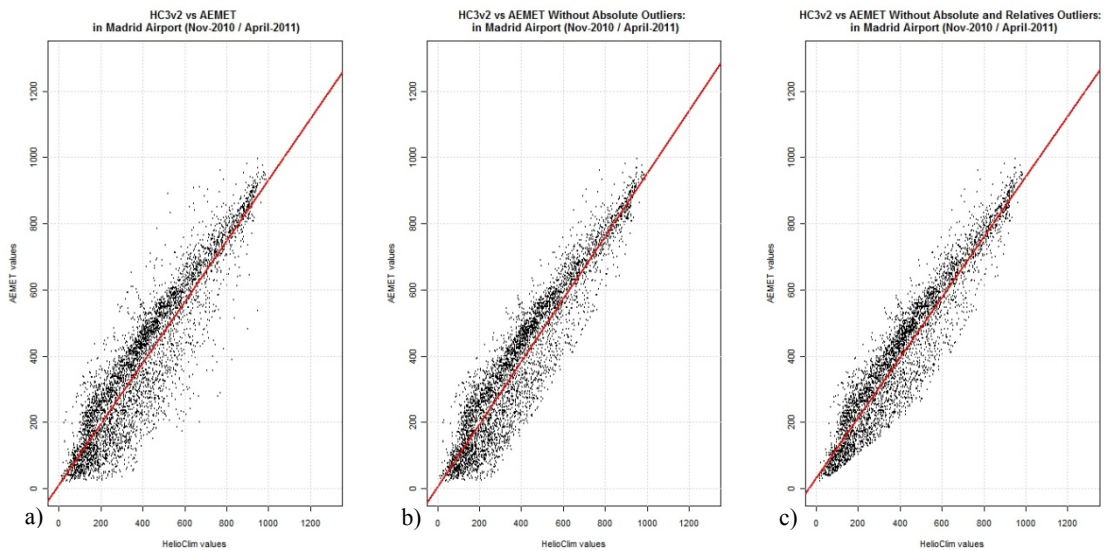


Figura 18. Densidad de dispersión para la estación AEMET en Aeropuerto de Madrid Barajas entre estimaciones por satélite HCv2 contra observaciones en tierra AEMET (a) de todas las observaciones, (b) sin los Outliers absolutos (c) y sin los Outliers absolutos ni los relativos. Fuente: producción propia.

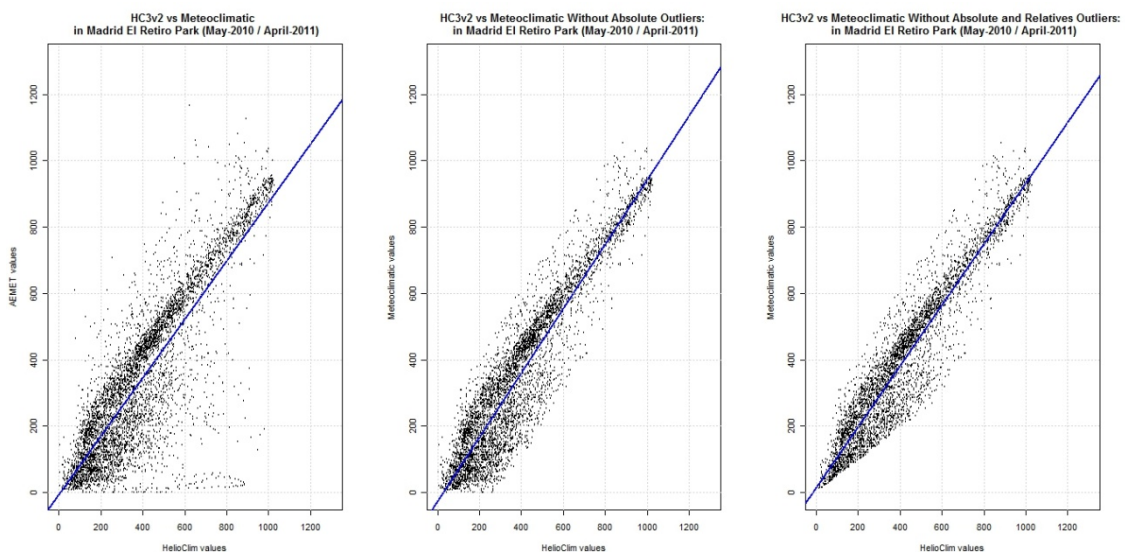


Figura 19. Densidad de dispersión para la estación Meteoclimatic en el parque el Retiro de Madrid entre estimaciones por satélite HCv2 contra observaciones en tierra Meteoclimatic (a) todas las observaciones, (b) sin los Outliers absolutos (c) y sin los Outliers absolutos ni los relativos. Fuente: producción propia.

4.2. Errores relativos sin ningún tipo de agrupación

Se realizó en análisis de errores relativos con solo aquellos valores identificados como validos por las dos combinaciones de series de RS:

(a) HC3v2 vs AEMET, $n = 90'070$

(b) HC3v2 vs Meteoclimatic, $n = 1'290'870$

Las figura 20 y 21 muestran gráfica y estadísticamente mediante valores numéricos los errores relativos entre las estimaciones de la RS de HC3v2 y las observaciones de AEMET o las observaciones de Meteoclimatic respectivamente. En la parte superior de las ambas figuras se muestra el histograma de la distribución de los errores relativos con los

indicadores numéricos para la cantidad de datos considerados (n), el Error Medio Cuadrático Relativo (Relative RMSE), Error Medio Cuadrático por las diferencias entre Estimaciones por satélite y Observaciones por estaciones en tierra (Absolute RMSE) y el índice de Correlación calculado con el método de Pearson.

De modo similar en la parte inferior de las figuras se presenta una curva de *kernel* de densidad y superpuesta a ésta, en color gris, una curva normal tomando como media y desviación estándar los valores totales de la distribución. En la misma parte inferior también se indican los valores de asimetría (Skewness) lo picuda o plana que es la distribución (Kurtosis), la media aritmética (Mean), la desviación estándar (Standard Deviation) y dos valores de prueba de Normalidad usando el test de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors.

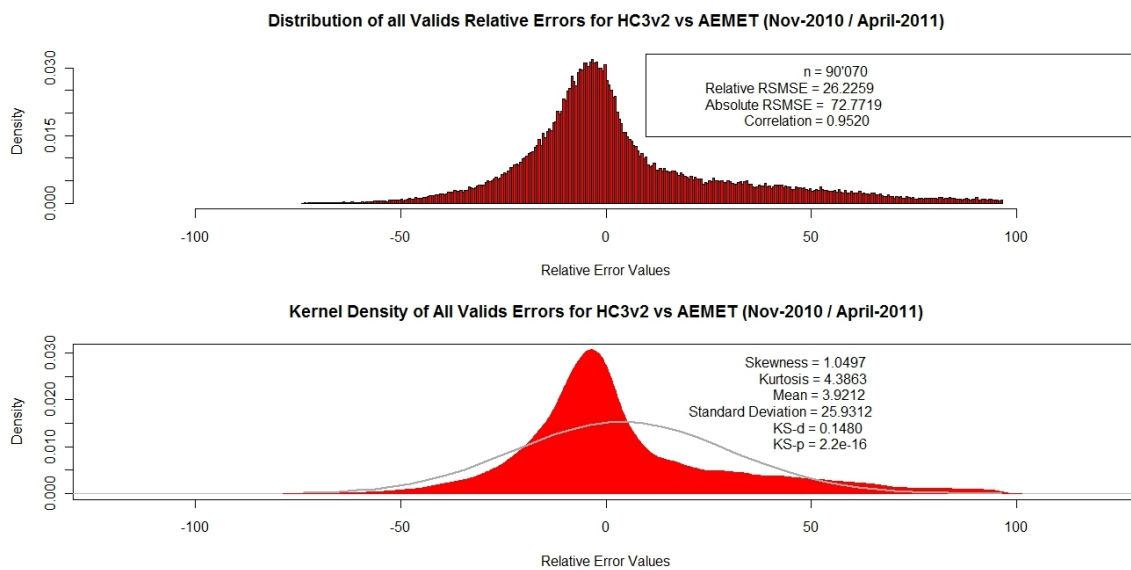


Figura 20. Histograma y diagrama de *kernel* de densidad de errores relativos entre estimaciones HC3v2 contra observaciones AEMET. Fuente: producción propia.

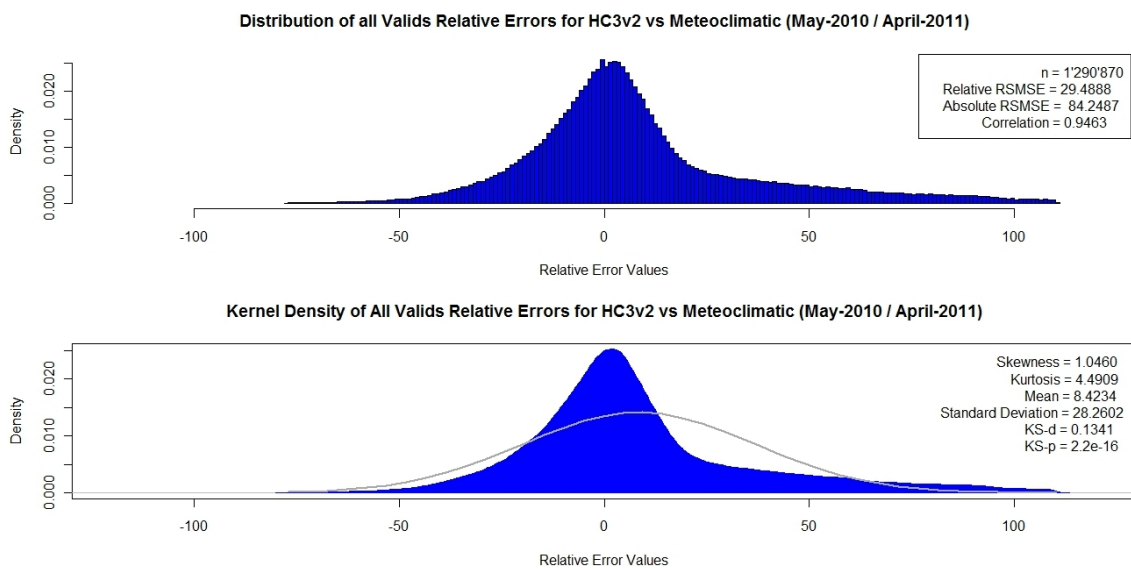


Figura 21. Histograma y diagrama de *kernel* de densidad de errores relativos entre estimaciones HC3v2 contra observaciones Meteoclimatic. Fuente: producción propia.

4.3. Análisis de errores

4.3.1. Análisis de errores agrupados por Meses/Longitudes/Horas

En la figura 22 se presenta el error relativo promedio para el mes de abril de 2011 agrupado por tipo de fuente, longitudes geográficas de 5 grados y horas. Las líneas punteadas representan a los errores relativos entre HC3v2 y Meteoclimatic, mientras que las líneas continuas representan los errores relativos entre HC3v2 y AEMET. Los colores de cada línea representan los valores en una franja de longitud atendiendo a la división presentada en la sección 3.3.4.1 y la figura 15. El eje x presenta las distintas horas del día, el eje y los errores medios relativos en función a la hora. La gráfica ha sido dividida en 3 zonas formadas mediante dos líneas verticales que intersecan en el eje x a las horas 10 y 14 respectivamente y han sido debidamente identificadas por los rectángulos con los números 1, 2, y 3 respectivamente.

Las tabla 9 y 10 presentan el Error Medio Cuadrático (RMSE) de las medias de cada agrupamiento frente a los demás grupos. Se ha diferenciado por fuente de datos HC3v2 frente AEMET en la figura (a) y HC3v2 frente Meteoclimatic en la figura (b) para facilitar la lectura e interpretación de las curvas mostradas en figura 22 ya que algunas líneas muestran gran parecido, otras interceptan, y el número es suficiente para complicar su lectura.

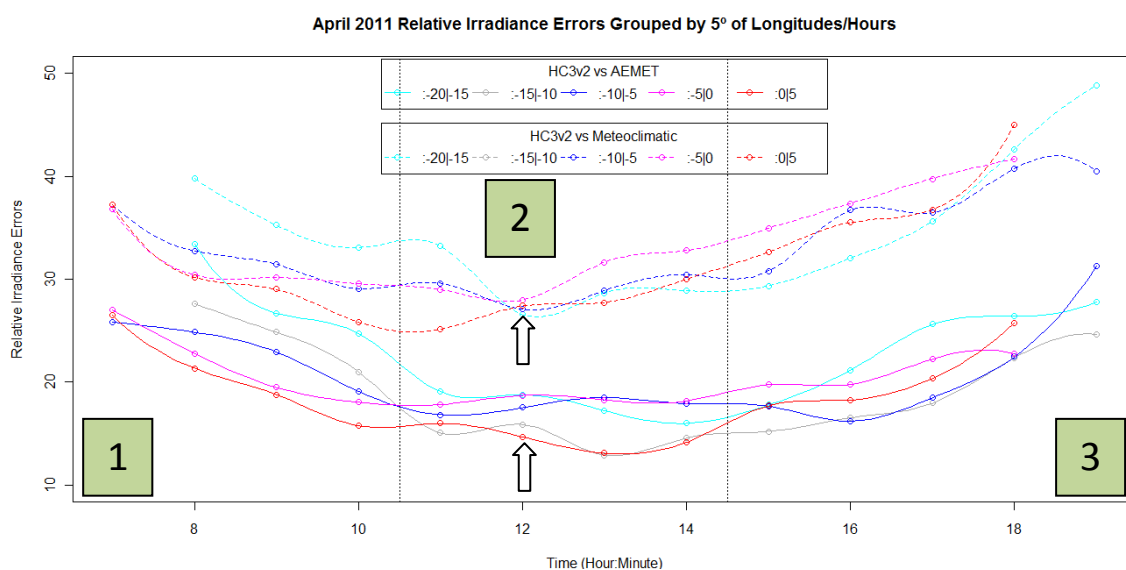


Figura 22. Error relativo agrupado por longitudes para el mes de Abril de 2011. Fuente: producción propia.

\	0 5	-5 0	-10 -5	-15 -10	-20 -15
0 5	\	2.7359	3.0457	3.4771	5.8094
-5 0	2.7359	\	2.087	3.9056	4.7309
-10 -5	3.0457	2.0873	\	3.0679	4.4077
-15 -10	3.4771	3.9056	3.0679	\	4.1656
-20 -15	5.8094	4.7309	4.4077	4.1656	\

Tabla 9. Error medio cuadrático de las medias de cada agrupamiento por longitudes frente a los demás grupos para las curvas de AEMET. Fuente: producción propia.

\	0 5	-5 0	-10 -5	-15 -10	-20 -15
0 5	\	2.6178	2.3718		5.0478
-5 0	2.6178	\	2.0710		4.7395
-10 -5	2.3718	2.0710	\		3.9958
-15 -10				\	
-20 -15	5.0478	4.7395	3.9958		\

Tabla 10. Error medio cuadrático de las medias de cada agrupamiento por longitudes frente a los demás grupos para las curvas de Meteoclimatic. Fuente: producción propia.

4.3.2. Análisis de errores agrupados por Meses/Cuasi-Latitudes/Horas

En la figura 23 se presenta el error relativo promedio para el mes de abril de 2011 agrupado por tipo de fuente, cuasi-latitudes y horas. Las líneas punteadas representan los errores relativos que resultan de comparar HC3v2 frente a Meteoclimatic, mientras que las líneas continuas representan los errores relativos de la comparación entre HC3v2 y AEMET. Los distintos colores para cada línea representan a cada franja de cuasi-latitud conforme a la división presentada en la sección 3.3.4.2 y la figura 16. El eje x presenta las distintas horas del día, el eje y los errores medios relativos en función a la hora. La gráfica ha sido dividida en 3 zonas formadas mediante dos líneas verticales que intersecan en el eje x a las horas 10 y 14 respectivamente y han sido debidamente identificadas por los rectángulos con los números 1, 2, y 3 respectivamente.

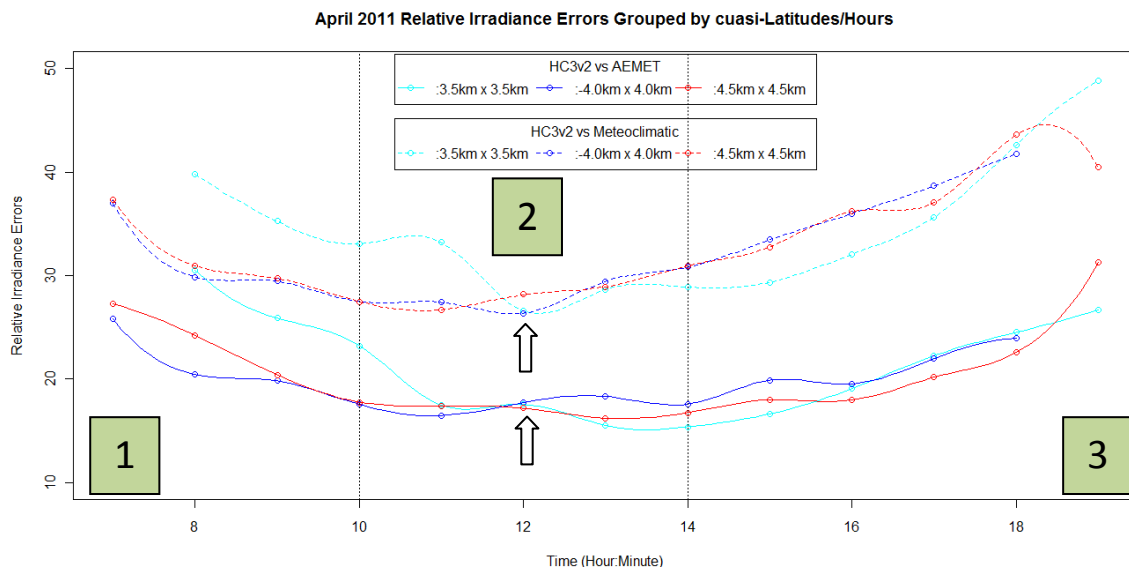


Figura 23. Error relativo agrupado por cuasi-latitudes para el mes de Abril de 2011. Fuente: producción propia.

4.3.3. Análisis de errores agrupados por Meses/Celdas/Horas

En la figura 24 se presenta el error relativo promedio para el mes de abril de 2011 agrupado por tipo de fuente, celdas espaciales y horas. Las líneas punteadas representan a los errores relativos resultantes de comprar HC3v2 frente a Meteoclimatic, mientras que las líneas

continuas representan los errores relativos entre HC3v2 y AEMET. Los distintos colores para cada línea representan a cada celda correspondiente a la división del territorio Español por 8 celdas atendiendo al criterio definido en la sección 3.3.4.3 y la figura 17. El eje x presenta las distintas horas del día, el eje y los errores medios relativos en función a la hora. La gráfica ha sido dividida en 3 zonas formadas mediante dos líneas verticales que intersecan en el eje x a las horas 10 y 14 respectivamente y han sido debidamente identificadas por los rectángulos con los números 1, 2, y 3 respectivamente.

Las tablas 11 y 12 presentan el Error Medio Cuadrático (RMSE) de las medias de cada agrupamiento frente a los demás grupos. Se ha diferenciado por fuente de datos HC3v2 frente AEMET en la figura (a) y HC3v2 frente Meteoclimatic en la figura (b) para facilitar la lectura e interpretación de las curvas mostradas en figura 24 ya que algunas líneas muestran gran parecido, otras interceptan, y el número es suficiente para complicar su lectura.

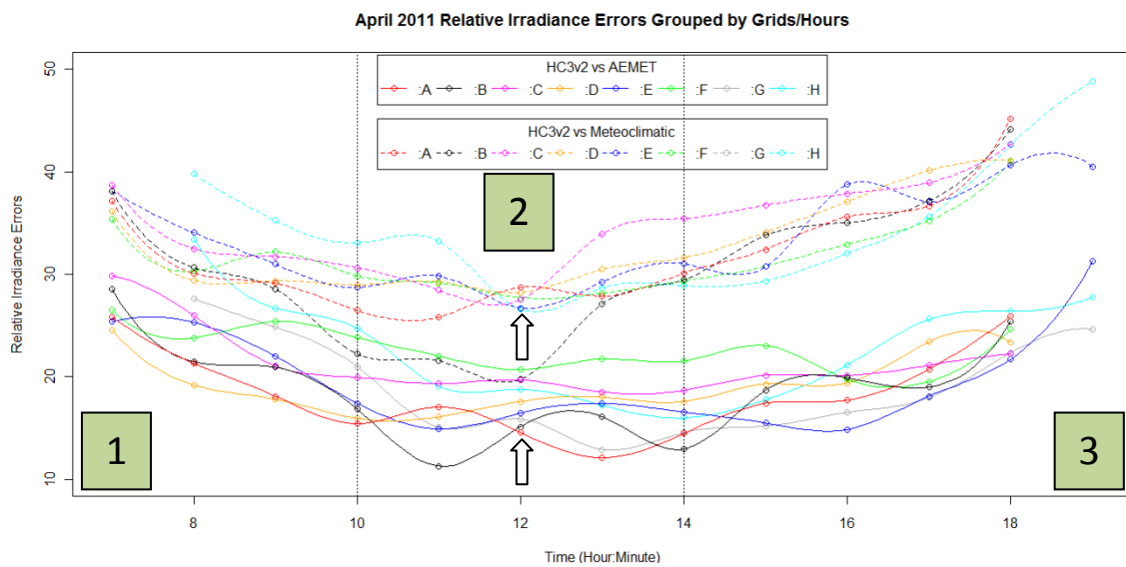


Figura 24. Error relativo agrupado por celdas para el mes de Abril de 2011. Fuente: producción propia.

\	A	B	C	D	E	F	G	H
A	\	2.5831	3.9222	2.6084	3.0558	5.5830	3.6892	5.9715
B	2.5831	\	3.7958	3.0413	2.9722	5.3994	3.4689	5.7915
C	3.9222	3.7958	\	3.2238	3.1861	2.7861	3.6561	3.8513
D	2.6084	3.0413	3.2238	\	3.2566	4.5594	4.6839	5.9514
E	3.0558	2.9722	3.1861	3.2566	\	4.6427	2.8543	4.9862
F	5.5830	5.3994	2.7861	4.5594	4.6427	\	5.2227	4.5470
G	3.6892	3.4689	3.6561	4.6839	2.8543	5.2227	\	4.1656
H	5.9715	5.7915	3.8513	5.9514	4.9862	4.5470	4.1656	\

Tabla 11. Error medio cuadrático de las medias de cada agrupamiento por celdas frente a los demás grupos para las curvas de AEMET. Fuente: producción propia.

\	A	B	C	D	E	F	G	H
A	\	3.1977	3.4360	2.2871	2.6138	2.3471		4.9151
B	3.1977	\	4.9701	4.2872	4.2650	4.3579		6.4865
C	3.4360	4.9701	\	2.3155	2.8299	3.7023		4.9089
D	2.2871	4.2872	2.3155	\	2.1753	2.4653		4.8511
E	2.6138	4.2650	2.8299	2.1753	\	2.3648		4.1513
F	2.3471	4.3579	3.7023	2.4653	2.3648	\		3.4782
G							\	
H	4.9151	6.4865	4.9089	4.8511	4.1513	3.4782		\

Tabla 12. Error medio cuadrático de las medias de cada agrupamiento por celdas frente a los demás grupos para las curvas de Meteoclimatic. Fuente: producción propia.

5. Conclusiones

Las principales conclusiones de estos trabajos de investigación están relacionadas con la corroboración de las hipótesis que nos planteamos para el desarrollo de este estudio, relacionadas con (1) la variación del error relativo entre estimaciones de la RS por satélite y observación en superficie a lo largo del día y (2) la posibilidad de usar la red de estaciones meteorológicas de voluntarios Meteoclimatic como una fuente de observaciones de la RS en superficie que densifica y expande el ámbito geográfico de utilización. El segundo grupo de conclusiones están relacionadas con el análisis de los errores relativos al agrupar espacialmente las observaciones (estaciones) de 3 formas distintas (por rango de longitudes, por rango de latitudes y por longitudes y latitudes) que nos ha permitido estudiar el efecto de la localización del punto de estudio en los errores. Finalmente se presentan otras conclusiones adicionales.

- 1) Se ha apreciado que el error relativo entre las estimaciones de la RS por satélite y observaciones de la RS por estaciones meteorológicas en superficie no es constante a lo largo del ciclo solar. Éste error es mayor en las primeras y últimas horas del día cuando el gradiente de variación de la RS es mayor, mientras que éste error es menor y más uniforme en la zona central del horario solar donde los valores de la RS son más intenso (aproximadamente en el periodo de tiempo de dos horas antes y dos horas después del medio día, entre las 10 y las 14 horas UTC). Esto ha quedado demostrado en los resultados de analizar los errores relativos en los que siempre se observa que en la primera etapa del día (hasta las 10 horas AM) donde los errores decrecen. Éste patrón se invierte en la última etapa del día (a partir de las 14 horas) donde los errores vuelven a crecer. Las partes más bajas de las curvas de error se encuentran en la etapa intermedia del día (entre las 10 y 14 horas) donde el error no sigue un patrón definido sino que sube y baja formando una curva más horizontal.
- 2) Adoptado las observaciones de la red de estaciones de AEMET (red oficial del estado) como patrón de referencia principal para realizar comparaciones, se ha encontrado que el Error Cuadrático Medio (ECM) de los valores de la RS observados frente a los estimados por SoDa-is (sin ningún tipo de agrupación) adopta el valor 26.22. El mismo Error (ECM) calculado entre los valores estimados por SoDa-is y los observados por las estaciones meteorológicas de voluntarios Meteoclimatic adopta el valor 29.48. Ambos valores son comparables y así lo demuestra la visualización conjunta de las curvas de la

RS observada y estimada en las localizaciones donde hay estaciones de las dos redes. Este resultado confirma que la hipótesis inicial sobre la utilidad de esta fuente alternativa y no oficial de datos sobre la RS.

- 3) Al considerar la red Meteoclimatic como una fuente válida de información, se densifica espacialmente las regiones y contexto geográfico en el que se dispone de observaciones de la RS en el territorio Español en un orden de magnitud al compararlo con la red de AEMET: se dispone de 227 estaciones Meteoclimatic frente a 23 de AEMET. Si se considera válido un área de influencia de 25 Km alrededor de cada estación en el que se pueden aplicar algoritmos de interpolación para las observaciones presentando un error tolerable y mejor que el de las estimaciones por satélite (Zelenka and others 1999), se estaría abarcando un 22% de la extensión geográfica nacional con ésta fuente de datos como se puede observar en la figura 25. Los círculos azules representan el área de influencia de las 23 estaciones de AEMET y los círculos celestes el área de influencia de las 227 estaciones Meteoclimatic.

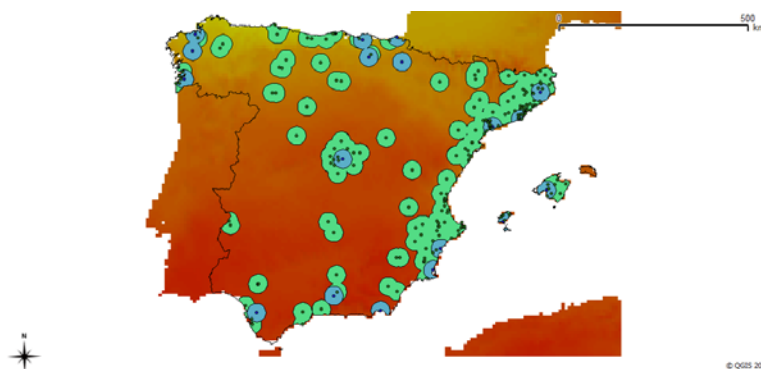


Figura 25. Distribución y cobertura de estaciones meteorológicas en tierra. Fuente: producción propia.

Del análisis de los errores relativos aplicando las distintas agrupaciones geográficas también se han obtenido las siguientes conclusiones:

- 4) Los resultados del análisis de los errores relativos agrupados por franjas de 5 grados de longitud muestran que en la mayoría de los casos las curvas, que representan los errores, que más se diferencian son aquellas que están más alejadas entre sí e igualmente las curvas más cercanas entre sí presentan mayores similitudes. Lo último evidencia que existe una relación entre las diferencias de los errores y la diferencia de las longitudes implicadas.
- 5) No se ha encontrado ninguna relación/tendencia aparente entre las observaciones al agruparlas por cuasi-latitudes (franjas norte-sur creadas siguiendo las resoluciones espaciales que ofrece el satélite en función de la latitud). Las curvas que representan los errores relativos están muy próximas entre sí y no se detecta ningún patrón de parecido o diferencia evidente. La única excepción, en este caso, corresponde a la franja de latitudes donde la resolución del satélite es de 3km x 3km, en la que se ha observado un mayor error al inicio del día, sin embargo las únicas estaciones que se encuentran en esta zona son las de las islas canarias que además comparten una longitud oeste en la región de

estudio (entre -20° y -10°). Este hecho puede contaminar los resultados al presentar un sesgo importante.

- 6) El análisis de los errores relativos agrupados por celdas también confirman la existencia de una relación entre las longitudes (recorrido del sol) y el error relativo. Sin embargo éste análisis parece verse afectado por la granularidad (tamaño) de de las celdas ya que al ser tan gruesas y al tener una distribución de las estaciones meteorológicas poco uniforme a lo largo del territorio, se ha observado que en muchos casos las estaciones quedan alineadas con el límite de la celda. Por lo tanto para poder obtener resultados concluyentes y rigurosos del análisis por celdas será necesario disminuir el tamaño de las mismas (aumentar la granularidad) y repetir el análisis.

Por ejemplo, la celda C o B compartirían fronteras con un total de 5 celdas quedando nada más 2 celdas sin tocarlas. Otro aspecto que afecta a éste análisis es la poca densidad de estaciones de AEMET, por ejemplo la celda F contiene nada más que 1 estación. También la agrupación de las estaciones sobre ciertas áreas sugiere que el centro de gravedad de la celda esta desplazado hacia la zona de la densificación, por ejemplo en el caso de Meteoclimatic la celda que menos se parece a la C es la H esto reafirma la teoría de las longitudes por ser la celda H la que más se le aleja de C. Sin embargo la segunda celda que más se le diferencia es B siendo ésta una vecina de la franja de longitud de su lado este.

- 7) Se ha detectado que en los primeros instantes de luz del día las estimaciones de la RS por satélite registran valores de RS mayores a los que registran las estaciones meteorológicas en tierra que en la mayoría de los casos presentan en ese mismo tiempo valores muy cercanos a cero. Lo anterior implica que sus errores relativos son bastantes grandes siendo necesario siempre en este tipo de datos (estimaciones/observaciones de RS) la detección de valores atípicos tanto por errores absolutos como por errores relativos.

6. Trabajos futuros:

Con el propósito de comprender mejor el efecto del recorrido del sol, se propone refinar el análisis de los errores relativos agrupando espacialmente las observaciones en tierra por longitudes/latitudes en celdas más pequeñas. En el caso de agrupaciones por celdas, subdividir cada celda en 4 pasándose a un total de 24 celdas contra 8 que actualmente se utilizaron.

Analizar con más rigurosidad los problemas derivados de la posible falta de sincronismo en los relojes de las estaciones meteorológicas voluntarias. El modo de adquisición actual de los puede introducir una distorsión en los tiempos en los que se registran las observaciones. Actualmente se está adoptando el valor de t para las estaciones Meteoclimatic que aparecen en el documento GeoRSS que publica la red, sin embargo el valor de la RS se lee de la página de cada estación pudiendo existir algún desfase.

El hecho de haber obtenido resultados aceptables para la red de estaciones meteorológicas voluntaria Meteoclimatic y con el propósito de mejorar la densificación espacial de las fuentes de observaciones de la RS en el territorio Español se propone identificar y agregar a nuestra BD de integración de observaciones de RS más redes de estaciones que ofrezcan en la web los valores de la RS en tiempo cuasi-real (Weather Underground, Weather Link, CWOP, las comunidades autónomas, la dirección general de tráfico, etc.). Una vez

inidentificadas estas nuevas redes y diseñados los mecanismos de acopio de datos, se debe de validar las observaciones y las estaciones, para lo que se propone utilizar el método desarrollado en este estudio.

Crear superficies de radiación solar que abarquen todo el territorio Español utilizando como fuente la BD de integración de observaciones de RS generadas para este estudio.

Identificar el mejor método de interpolación de observaciones de redes RS no oficiales (como Meteoclimatic) almacenadas en la BD de integración mediante la comparación de esas interpolaciones con los valores de la RS observados por las estaciones oficiales.

Referencias

- Servidor de datos - Acceso a Datos
[Internet]. España; c2011 [cited 2011 04/22]. Available from:
<http://www.aemet.es/es/servidor-datos/acceso-datos> .
- AEMET establece el acceso libre y gratuito a todos sus datos por medios electrónicos
[Internet]. España; c2010 [cited 2011 05/17]. Available from:
http://www.aemet.es/es/zona_portada_destacada/politicadatos .
- Apaza O. E. H., Alvarez R. L., Portugal A. M., Tejada E. P. and Vizcardo M. 2009. Diseño, construcción y evaluación de un sistema solar híbrido Fotovoltaico/Térmico para aumentar la eficiencia de un panel solar. ; 2009; Arequipa, Peru. Arequipa, Peru: .
- Brescia J, inventor; Building integrated photovoltaic conversion system implemented with integrated control management units. .
- Chemisana D. 2010. Building integrated concentrating photovoltaics: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews .
- Chow T. 2010. A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. Appl Energy 87(2):365-79.
- Croarkin C and Tobias P. 2010. NIST/SEMATECH e-handbook of statistical methods. .
- European Economy News. 2010. Europe's "moment of truth": How to the europe 2020 strategy must transform the union. European Economy News. Europe 2020 Upgrading to a Smarter, Greener, More Inclusive Economy: 6.
- Salidas y puesta del sol [Internet]. España; c2011 [cited 2011 05/13]. Available from:
http://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENE_RALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Astronomia/publico/efemerides/salida_puesta_sol.htm .
- Fu P and Rich PM. 2002. A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry. Comput Electron Agric 37(1-3):25-35.
- Goodchild MF. 2007. Citizen as voluntary sensors: Spatial data infrastructure in the world of web 2.0. International Journal of Spatial Data Infrastructures Research 2:24-32.
- Gouveia C and Fonseca A. 2008. New approaches to environmental monitoring: The use of ICT to explore volunteered geographic information. GeoJournal 72(3):185-97.
- Gueymard CA. 2004. The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models. Solar Energy 76(4):423-53.
- Gueymard CA and Myers DR. 2008. Solar radiation measurement: Progress in radiometry for improved modeling. Modeling Solar Radiation at the Earth Surface .

- Gutierrez-Corea FV and Manso-Callejo MA. 2011. Análisis comparativo de series HelioClim entregadas por soda a intervalos de 15 Y 5 minutos. (No publicado): . 1 p. .
- Harrouni S. 2008. Fractal classification of typical meteorological days from global solar irradiance: Application to five sites of different climates. Modeling Solar Radiation at the Earth's Surface: Recent Advances 1:29.
- HelioClim [Internet]; c2011 [cited 2011 04/01]. Available from: <http://www.helioclim.com>
- Hepbasli A. 2008. A key review on exergetic analysis and assessment of renewable energy resources for a sustainable future. Renewable and Sustainable Energy Reviews 12(3):593-661.
- Plan de Energías Renovables 2011-2020 (Informe de previsión) [Internet]. Spain; c2011 [cited 2011 04/27]. Available from: <http://www.idae.es/index.php/mod.pags/mem.detalle/relcategoria.1153/id.501/reلمenu.12> .
- Kaya D. 2006. Renewable energy policies in turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews 10(2):152-63.
- Maxwell EL. 1998. METSTAT--the solar radiation model used in the production of the national solar radiation data base (NSRDB). Solar Energy 62(4):263-79.
- Subscripcion RSS
[Internet]. España; c2011a [cited 2011 04/23]. Available from: http://www.meteoclimatic.com/index/wp/rss_es.html .
- Sello «Meteoclimatic» a la calidad [Internet]. España; c2011b [cited 2011 04/24]. Available from: http://www.meteoclimatic.com/index/quamet_es.html .
- MITYC. 2010. Informe en relación con la cumplimentación del artículo 4.3 de la directiva 2009/28/Ce, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovable. Spain: .
- NREL. 1992. National solar radiation data base (1961-1990) user's Manual . Asheville, North Carolina, USA.: National Climatic Data Center.
- Perez R, Seals R, Zelenka A. 1997. Comparing satellite remote sensing and ground network measurements for the production of site/time specific irradiance data. Solar Energy 60(2):89-96.
- Polo J, Zarzalejo LF, Ramirez L. 2008. Solar radiation derived from satellite images. Badescu V, editor. Berlin, Germany: Springer-Verlag. 449 p.
- Punset E. 2011. Redes 97: El mundo de abajo a arriba. Radio Televisión Española (RTVE). (Redes 97, 29/05/2011, Minuto 21:20)
- Renné DS, George R, Wilcox S, Stoffel T, Myers D, Heimiller D. 2008. Solar resource assessment. National Renewable Energy Laboratory (US) ed. National Renewable Energy Laboratory (US).

- Sherwani AF, Usmani JA, Varun. 2010. Life cycle assessment of solar PV based electricity generation systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(1):540-4.
- SoDa - Times series of radiation data for registered users [Internet]. France; c2011a [cited 2011 04/24]. Available from: http://www.soda-is.com/eng/services/services_radiation_pay_eng.php .
- Overview of the SoDa Service [Internet]; c2011b [cited 2011 04/02]. Available from: <http://www.soda-is.com/eng/about/index.html> .
- Main Properties of the HelioClim Databases [Internet]. France; c2011c [cited 2011 05/15]. Available from: http://www.soda-is.com/eng/helioclim/helioclim_main_properties.html .
- Taha Z., Passarella R., Sah J. M. and Rahim N. B. A. 2008. A review on energy management system of solar car. The 9th asia pacific industrial engineering & management systems conference. 3 p.
- Toole G. L., Fair M., Berscheid A. and Bent R. 2010. Electric power transmission network design for wind generation in the western united states: Algorithms, methodology, and analysis. *Transmission and distribution conference and exposition, 2010 IEEE PES; 19-22 April 2010; IEEE*. 1 p.
- Umer M, Kulik L, Tanin E. 2010. Spatial interpolation in wireless sensor networks: Localized algorithms for variogram modeling and kriging. *GeoInformatica* 14(1):101-34.
- Zelenka A, Perez R, Seals R, Renné D. 1999. Effective accuracy of satellite-derived hourly irradiances. *Theoretical and Applied Climatology* 62(3):199-207.

ANEXO

A.1. Listado de estaciones en tierra utilizadas

No.	ID	Nombre	Longitud	Latitud	Observaciones Validas
1	60035	PUERTO ROSARIO (AEROP FUERTEVENTURA 'EL MATORRAL')	-13.8665	28.4514	5047
2	60040	SAN BARTOLOME (AEROPUERTO LANZAROTE)	-13.6015	28.9508	4899
3	8487	ALMERIA (AEROPUERTO)	-2.3892	36.8418	4699
4	8373	SAN JOSE (AEROPUERTO DE IBIZA)	1.3689	38.8769	4671
5	60030	TELDE (AEROPUERTO DE G.CANARIA 'GANDO')	-15.3901	27.9278	4649
6	60025	REINA SOFIA (AEROP.TENERIFE SUR)	-16.5719	28.0414	4577
7	8360	ALICANTE (AEROPUERTO EL ALTET)	-0.5567	38.2847	4354
8	8175	REUS (AEROPORT)	1.1777	41.1486	4285
9	60015	RODEOS (AEROP.TENERIFE NORTE)	-16.3191	28.468	4264
10	8221	MADRID (AEROPUERTO DE BARAJAS)	-3.5454	40.453	4247
11	8181	AEROPORT DE BARCELONA (EL PRAT)	2.0764	41.2958	4116
12	8042	SANTIAGO COMPOSTELA (LABACOLLA)	-8.4283	42.8983	4078
13	8419	GRANADA (AEROPUERTO)	-3.7776	37.1888	4020
14	8451	JEREZ DE LA FRONTERA (AEROPUERTO)	-6.0645	36.7446	3923
15	8433	MURCIA (SAN JAVIER)	-0.8034	37.7855	3854
16	8002	A CORUÑA (AEROPORTO)	-8.3797	43.303	3813
17	8029	FUENTERRABIA (AEROPUERTO)	-1.7915	43.3556	3734
18	8080	VITORIA (AEROPUERTO DE FORONDA)	-2.724	42.8828	3681
19	8184	AEROPORT DE GIRONA (COSTA BRAVA)	2.7592	41.9003	3541
20	8045	VIGO (PEINADOR)	-8.6333	42.2224	3250
21	8025	BILBAO (AEROPUERTO)	-2.9071	43.297	3216
22	8306	PALMA (AEROPUERTO SON SAN JUAN)	2.7428	39.5655	2185
23	8085	PAMPLONA (AEROPUERTO DE NOAIN)	-1.6404	42.7672	967

Tabla 13. Estaciones Oficiales de AEMET que ofrecen observaciones RS en tiempo cuasi-real a una resolución temporal de 10 minutos. Fuente: producción propia.

No.	ID	Nombre	Longitud	Latitud	Observaciones Validas
1	ESPVA4600000046117A	Bétera	-0.5	39.6	10055
2	ESPVA0300000003730B	Xàbia / Jávea - Port	0.1803	38.7928	9965
3	ESMUR3000000030140A	Santomera	-1.0519	38.0633	9927
4	ESCAT4300000043850D	Cambrils - Parellada	1.1	41.1	9848
5	ESPVA4600000046240B	Carlet	-0.5	39.2	9845
6	ESPVA1200000012580A	Benicarló - Centro	0.4	40.4	9817
7	ESPVA4600000046870B	Ontinyent - Llombo	-0.6072	38.8172	9671
8	ESAND4100000041970A	Santiponce, Itálica	-6.0428	37.4439	9651
9	ESCAT0800000008620B	Sant Vicenç dels Horts	2.0075	41.3983	9648
10	ESCLM0200000002640B	Almansa	-1.1014	38.8731	9628
11	ESICA3500000135100A	Maspalomas	-15.5744	27.77	9621
12	ESAND1100000011100A	San Fernando	-6.1886	36.4711	9584
13	ESIBA0700000107200A	Felanitx	3.1514	39.4692	9565
14	ESIBA0700000207829A	Cala De Bou-Sant Josep	1.3	39	9553

No.	ID	Nombre	Longitud	Latitud	Observaciones Validas
15	ESCAT4300000043393C	Almóster - Sud	1.1086	41.1908	9532
16	ESCAT0800000008850A	Gavà	1.995	41.3061	9495
17	ESPVA0300000003700D	Dénia - Joan Chabàs	0.1	38.8	9491
18	ESAST3300000033203A	Gijón	-5.6239	43.5381	9487
19	ESAND0400000004610A	Cuevas Del Almanzora	-1.9	37.3	9477
20	ESCAT0800000008914B	Badalona - La Salut	2.2247	41.4378	9447
21	ESCAT4300000043206A	Reus - Bellisens	1.1333	41.1403	9445
22	ESIBA0700000107570A	Artà	3.3525	39.6917	9434
23	ESCAT4300000043762A	La Riera de Gaià	1.3614	41.1667	9411
24	ESCAT4300000043202B	Reus - Dr Vilaseca	1.0992	41.1561	9375
25	ESIBA0700000207800A	Eivissa	1.4	38.9	9352
26	ESGAL2700000027821A	Aeròdrom de Rozas	-7.4653	43.1144	9345
27	ESCAT0800000008402B	Granollers	2.2942	41.6214	9334
28	ESCYL2400000024195A	León - Las Lomas	-5.5192	42.585	9293
29	ESPVA0300000003740A	Gata de Gorgos	0.0836	38.7731	9290
30	ESAND1100000011500A	El Puerto de Santa María	-6.2	36.6	9254
31	ESCAT1700000017142C	Verges Ponent	3.0458	42.0603	9249
32	ESGAL3600000036212A	Vigo - Navia	-8.7564	42.2142	9197
33	ESCAT4300000043559A	Ulldecona-S. Joan del Pas	0.3808	40.6078	9158
34	ESAND4100000041970B	Santiponce - MeteoSevilla	-6.0472	37.4361	9148
35	ESCAT1700000017001A	Girona. Devesa	2.8208	41.9864	9146
35	ESCAT0800000008184A	Palau Solità i P. Castell	2.1856	41.5778	9141
37	ESPVA1200000012500B	Vinaròs - Oest	0.4681	40.47	9126
38	ESAND4100000041907B	Valencina dela Concepción	-6.0589	37.4317	9114
39	ESMUR3000000030510A	Yecla - La Maneta	-1.1458	38.6314	9110
40	ESCAT0800000008930A	Barcelona - Port Fòrum	2.2294	41.4139	9087
41	ESCAT4300000043890A	Hosp.de l Infant - Centre	0.9228	40.9925	9071
42	ESAST3300000033440A	Luanco - Peroño	-5.7869	43.6261	9037
43	ESCAT0800000008211B	Castellar del Vallès	2.1	41.6	9000
44	ESAST3300000033570A	Panes-Peñamellera Baja	-4.5839	43.3228	8989
45	ESCAT0800000008476A	La Batllòria [Vallès Ori]	2.5478	41.7181	8986
46	ESAND0400000004800A	Albox	-2.1519	37.4056	8953
47	ESCAT4300000043413A	Belltall	1.2	41.5	8941
48	ESCAT0800000008830C	Sant Boi de Llobregat	2.0278	41.35	8940
49	ESICA3800000138009A	Santa Cruz-Meteosantacruz	-16.2783	28.4578	8929
50	ESCAT4300000043364B	Prades	0.9875	41.3122	8928
51	ESPVA4600000046014A	Valencia - Patraix A.C.	-0.3992	39.4617	8911
52	ESPVA0300000003600A	Elda	-0.7875	38.4728	8908
53	ESCAT0800000008328A	Alella	2.2783	41.5064	8885
54	ESIBA0700000207820A	Sant Antoni de Portmany	1.3	38.9858	8875
55	ESCAT0800000008450A	Llinars del Vallès	2.4058	41.6425	8854
56	ESCAT1700000001710A	L Escala Can Prisco	3.1569	42.1083	8825
57	ESMAD2800000028232A	Las Rozas	-3.9292	40.5194	8808
58	ESCLM0200000002200A	Casas Ibáñez	-1.5	39.3	8791
59	ESCYL4900000049600A	Benavente	-5.7	42	8788
60	ESCAT1700000017486C	Castelló d Empuries II	3.1	42.2	8787
61	ESCAT0800000008328B	Alella - Centre	2.2953	41.4969	8781

No.	ID	Nombre	Longitud	Latitud	Observaciones Validas
62	ESCLM130000013197A	La Poblachuela	-3.98	38.9467	8750
63	ESIBA0700000107620A	Llucmajor	2.895	39.4883	8735
64	ESCAT0800000008014C	Barcelona - Can Bruixa	2.1331	41.3842	8727
65	ESPVA0300000003730D	Xàbia / Jávea - Pueblo	0.1661	38.7836	8717
66	ESCAT0800000008776A	Sant Pere de Riudebitlles	1.7056	41.4533	8717
67	ESCAT0800000008349A	Cabrera de Mar	2.4	41.5	8704
68	ESPVA4600000046613A	Llaurí	-0.3297	39.1478	8642
69	ESPVA0300000003204A	Elche	-0.7028	38.2567	8633
70	ESARA2200000022193A	Arascués	-0.4494	42.2639	8631
71	ESCYL0900000009196A	Renuncio	-3.7522	42.3161	8621
72	ESCLM130000013370A	Calzada de Calatrava	-3.8	38.7	8620
73	ESCTB3900000039011A	Ojáiz-Peñacastillo	-3.8842	43.4439	8610
74	ESMUR3000000030520A	Jumilla	-1.3325	38.4739	8602
75	ESIBA0700000107340B	Alaró - Barbut	2.79	39.7044	8549
76	ESCAT4300000043207A	Reus - Crta. Falset	1.0683	41.1661	8520
77	ESCAT0800000008504A	Sant Julià de Vilatorca	2.3178	41.9267	8492
78	ESCAT1700000017174A	Sant Feliu de Pallerols	2.5067	42.0783	8491
79	ESCAT0800000008360E	Canet de Mar - MeteoCanet	2.6	41.6	8475
80	ESCAT4300000043500A	Tortosa	0.5247	40.7975	8406
81	ESICA3800000238750A	El Paso	-17.9	28.7	8271
82	ESPVA1200000012513D	Catí	0	40.5	8263
83	ESCAT4300000043560A	La Sénia	0.2953	40.6547	8244
84	ESCAT2500000025720A	Sta Magdalena de Serinyà	1.7747	42.3425	8241
85	ESCAT0800000008913C	Badalona - Llefià alt	2.2181	41.4433	8198
86	ESAND2300000023071B	Jaen	-3.7058	37.6889	8172
87	ESPVA4600000046870A	Ontinyent - Germanies	-0.5969	38.8261	8169
88	ESCAT4300000043380A	La Mussara	1.0319	41.2556	8139
89	ESCAT4300000043201B	Reus - Vallroquetes	1.1097	41.1561	8122
90	ESAND2900000029649A	Calahonda / Mijas-Costa	-4.7	36.5	8114
91	ESPVA1200000012221A	Tales	-0.3072	39.9492	8065
92	ESIBA0700000107430A	Llubi - Son Rossinyol	3	39.685	8035
93	ESPVA4600000046840B	La Pobla del Duc	-0.4172	38.9089	7940
94	ESCAT0800000008350C	Arenys de Mar - Riera -	2.5	41.6	7901
95	ESCAT2500000025006A	Lleida	0.6172	41.6211	7854
96	ESCAT4300000043500C	Tortosa Cumulus Test	0.52	40.7975	7852
97	ESMUR3000000030580A	Alquerias * Los Ramos	-1.0497	38.0136	7831
98	ESCAT0800000008202B	Sabadell - Centre	2.1144	41.5472	7804
99	ESIBA0700000107330A	Consell	2.8	39.6	7628
100	ESCYL0900000009193A	Cardeñajimeno	-3.6	42.3	7621
101	ESCAT2500000025527A	Barruera	0.8	42.5	7620
102	ESCAT1700000017846A	Mata	2.7833	42.0972	7603
103	ESAND1800000018220A	Albolote - Pant. Cubillas	-3.6747	37.2856	7544
104	ESCAT0800000008259A	Fals	1.7128	41.7431	7500
105	ESAST3300000033577A	Alles - Peñamellera Alta	-4.7072	43.3342	7361
106	ESEXT0600000006010A	Badajoz-Dehesilla Calamon	-6.9528	38.8069	7352
107	ESGAL3600000036350A	Nigrán	-8.7797	42.1142	7227
108	ESCAT0800000008430D	La Roca del Valles	2.3111	41.6028	7176

No.	ID	Nombre	Longitud	Latitud	Observaciones Validas
109	ESICA3800000138109B	El Rosario - Radazul	-16.3	28.4	7173
110	ESMAD2800000028223A	Pozuelo de Alarcón	-3.8219	40.4317	7157
111	ESCAT1700000017403D	Sant Hilari Sacalm	2.52	41.8789	7122
112	ESIBA0700000207849A	Sant Carles de Peralta	1.5664	39.0272	6957
113	ESPVA0300000003450A	Banyeres de Mariola	-0.6656	38.7247	6935
114	ESEUS0100000001171A	Legutiano	-2.6431	42.9436	6880
115	ESCYL4700000047155A	Santovenia de Pisuerga	-4.6875	41.6939	6856
116	ESCAT0800000008192B	Sant Quirze del Vallés	2.0875	41.5311	6841
117	ESPVA4600000046138A	Rafelbunyol	-0.3403	39.5908	6550
118	ESPVA4600000046018B	Valencia - Patraix	-0.3956	39.4667	6506
119	ESPVA4600000046410A	Sueca	-0.3131	39.2136	6452
120	ESMAD2800000028770A	Colmenar Viejo	-3.8	40.7	6444
121	ESCLM1900000019305A	Mazarete	-2.1831	40.9611	6408
122	ESGAL1500000015318A	Abegondo	-8.2892	43.2264	6407
123	ESPVA0300000003339A	Crevillente	-0.8	38.2	6355
124	ESCAT0800000008500A	Vic	2.2833	41.9583	6299
125	ESCAT4300000043364C	Prades - Tossal Baltasana	1	41.3	6290
126	ESCAT4300000043364D	La Febró	1	41.3	6156
127	ESMUR3000000030161A	Llano de Brujas	-1.0786	37.9978	6056
128	ESAST3300000033180A	Noreña	-5.7	43.4	5974
129	ESGAL3600000036900A	Marín	-8.7033	42.3903	5767
130	ESGAL3600000036309A	Baredo-Baiona	-8.9	42.1	5711
131	ESCAT1700000017869A	Llanars	2.6789	42.3231	5693
132	ESMUR3000000030400D	Caravaca - Noroeste	-1.9	38.1	5656
133	ESEUS2000000020160A	Lasarte	-2.0361	43.2689	5603
134	ESCAT0800000008350A	Arenys de Mar	2.565	41.5928	5585
135	ESCAT0800000008508A	La Gleva	2.2	42	5574
136	ESARA2200000022583A	Santorens	0.7	42.4	5568
137	ESCAT0800000008736A	Font-Rubí	1.5886	41.4306	5505
138	ESPVA0300000003440B	Ibi - IES	-0.5994	38.6006	5390
139	ESCAT0800000008650B	Sallent [El Bages]	1.8997	41.8267	5366
140	ESIBA0700000107609B	Bahía Azul	2.7625	39.4211	5337
141	ESCAT0800000008110D	Montcada i Reixac	2.1869	41.4819	5274
142	ESCAT4300000043479A	L Albiol	1.1	41.3	5146
143	ESICA3800000138291A	Los Baldíos	-16.3286	28.4711	5068
144	ESMAD2800000028192A	La Cabrera	-3.5867	40.8831	5041
145	ESAND2900000029713A	La Viñuela	-4.1458	36.865	5003
146	ESEUS4800000048980B	Santurtzi	-3.0378	43.3292	4854
147	ESMUR3000000030395A	Cartagena - Cabezo Beaza	-1	37.6	4757
148	ESCAT4300000043362A	Siurana - El Mirador	0.9	41.3	4671
149	ESGAL3600000036940A	Cangas	-8.8	42.3	4603
150	ESCAT1700000017869C	Tregura de Baix	2.2744	42.3406	4478
151	ESMAD2800000028009A	Madrid-Retiro	-3.6764	40.4208	4308
152	ESPVA4600000046650D	Canals	-0.6	38.9	4219
153	ESCAT1700000017707A	La Vajol	2.7994	42.4036	4122
154	ESCAT0800000008551A	Tona	2.2314	41.8553	3861
155	ESCAT4300000043364A	Mont-ral	1.0975	41.2872	3643

No.	ID	Nombre	Longitud	Latitud	Observaciones Validas
156	ESCAT4300000043740A	Mora d Ebre	0.6358	41.0836	3626
157	ESIBA0700000207816A	Sant Mateu d Albarca	1.3831	39.0383	3623
158	ESPVA0300000003710B	Calp - Aguas de Calpe	0	38.6	3371
159	ESPVA0300000003700A	Dénia - Las Marinas Playa	0.1	38.9	3361
160	ESCAT0800000008018D	Barcelona - BTV	2.2	41.4	3093
161	ESCAT4300000043892A	Miami-Platja	0.9833	41.05	2654
162	ESCAT4300000043206B	Reus - Nord	1.1	41.2	2623
163	ESMAD2800000028512A	Villar del OlmoEurovillas	-3.2	40.3	2564
164	ESCAT0800000008490A	Tordera	2.7186	41.6944	2499
165	ESCAT0800000008754C	El Papiol	2	41.4	2464
166	ESCAT2500000025600B	Balaguer -	0.8117	41.7947	2463
167	ESAND1100000011519A	Puerto Real	-6.4	36.9	2408
168	ESCAT4300000043364E	Capafonts	1	41.3	2327
169	ESPVA4600000046692A	Montesa	-0.6453	38.9489	2232
170	ESCAT1700000017403B	Sant Hilari Sacalm	2.5	41.9	1971
171	ESCLM1900000019171A	Cabanillas del Campo	-3.2	40.6	1959
172	ESCAT0800000008980C	Sant Feliu Llob.	2.1	41.4	1953
173	ESARA4400000044140A	cantavieja	0.4	40.5	1796
174	ESCYL3400000034492A	Mave	-4.2717	42.7381	1724
175	ESMUR3000000030430A	Cehegin	-1.8	38.1	1713
176	ESARA4400000044134A	Alobras	-1.3875	40.1806	1688
177	ESCLM1900000019142A	Lupiana	-3	40.6	1657
178	ESPVA4600000046003A	València - Ciutat Vella	-0.3775	39.4772	1630
179	ESGAL2700000027002B	Lugo - Ramón Ferreiro	-7.5533	43.0031	1562
180	ESICA38000000238789B	Puntagorda	-28.8	18	1519
181	ESPVA1200000012598B	Peñíscola	0.39	40.3633	1446
182	ESARA4400000044621A	Massalio	0.1	41.1	1375
183	ESPVA0300000003710A	Calpe / Calp	0	38.7	1192
184	ESCAT1700000017730B	Llers	2.9519	42.2972	1027
185	ESMAD2800000028670A	Villaviciosa de Odón	-3.8986	40.3494	900
186	ESPVA4600000046470A	Massanassa	-0.4	39.4	894
187	ESCYL4900000049624A	Aguilar de Tera	-5.8	42	873
188	ESCTB3900000039300D	Torrelavega - Centro	-4.1	43.3	794
189	ESICA3500000135200A	Telde	-15.3778	28.0081	745
190	ESCAT0800000008769B	Castellví de Rosanes-Taio	1.9	41.5	734
197	ESCAT0800000008820A	El Prat de Llobregat	2.1	41.3	728
192	ESMAD2800000028911A	Leganes UCIII	-3.8	40.3	727
193	ESAND2300000023440A	Baeza	37.8	3.8	629
194	ESCAT0800000008392B	St Andreu de Llavaneres	2.4764	41.5761	592
195	ESCAT0800000008150B	Parets del Vallès	2.2067	41.5644	585
196	ESCLM4500000045223B	Seseña - El Quiñon	-3.7	40.1	529
197	ESAND2900000029500A	Alora	-4.7	36.8	416
198	ESCAT1700000017199B	Canet d Adri	2.7	42	407
199	ESPVA4600000046120A	Montserrat - SAEAS	0.5	39.4	382
200	ESCYL2400000024009A	Trobajo del Camino	-5.6	42.6	238
201	ESCYL2400000024840A	Sopeña de Curueño	-5.4	42.8	236
202	ESMUR3000000030648A	Macisvenda	-1	38.3	194

No.	ID	Nombre	Longitud	Latitud	Observaciones Validas
203	ESPVA4600000046440A	Almussafes	-0.4	39.3	123
204	ESARA2200000022583B	sopeira	0.7	42.3	94
205	ESCAT1700000017833A	Fontcoberta	2.7728	42.1464	67
206	ESIBA0700000107440A	S Albufera - Muro	3.105	39.7969	29
207	ESMAD2800000028040C	Madrid_Ciemat42Lab	-3.7	40.5	10
208	ESCAT0800000008003C	Barcelona	2.2	41.4	10
209	ESCAT0800000008391A	Tiana	2.3	41.5	1
210	ESCAT4300000043439A	Vilanova de Prades	1	41.3	
211	ESCLM0200000002650A	Montealegre del Castillo	-1.3	38.8	
212	ESCLM1900000019170A	El Casar	-3.4	40.7	
123	ESCYL0500000005229A	Bercial de Zapardiel	-5	41	
124	ESCYL4700000047155A	Santovenia de Pisuerga	-4.6875	41.6939	
215	ESEXT0600000006071A	Badajoz-Universidad	-7	38.9	
216	ESEXT1000000010001C	Cáceres R-66 / 2	-6.4	39.5	
217	ESGAL3200000032870A	Cimadevila - Lobios	-8.1	41.9	
218	ESPVA0300000003570A	La Vila Joiosa	-0.2217	38.5244	
219	ESPVA0300000003740A	Gata de Gorgos	0.0836	38.7731	
220	ESPVA4600000046003A	València - Ciutat Vella	-0.3775	39.4772	
221	ESCYL4700000047155A	Santovenia de Pisuerga	-4.6875	41.6939	
222	ESCAT0800000008450A	Vallès	2.4058	41.6425	
223	ESPVA4600000046870A	Germanies	-0.5969	38.8261	
224	ESMAD2800000028192A	La Cabrera	-3.5867	40.8831	
225	ESAND2900000029649A	Calahonda / Mijas-Costa	-4.7	36.5	
226	ESAND1100000011100A	San Fernando	-6.1886	36.4711	
227	ESGAL2700000027002B	Lugo - Ramón Ferreiro	-7.5533	43.0031	

Tabla 14. Estaciones de la red VGI Meteorológica que ofrecen observaciones de RS. Fuente: producción propia.

A.2. Errores relativos agrupados por meses y horas

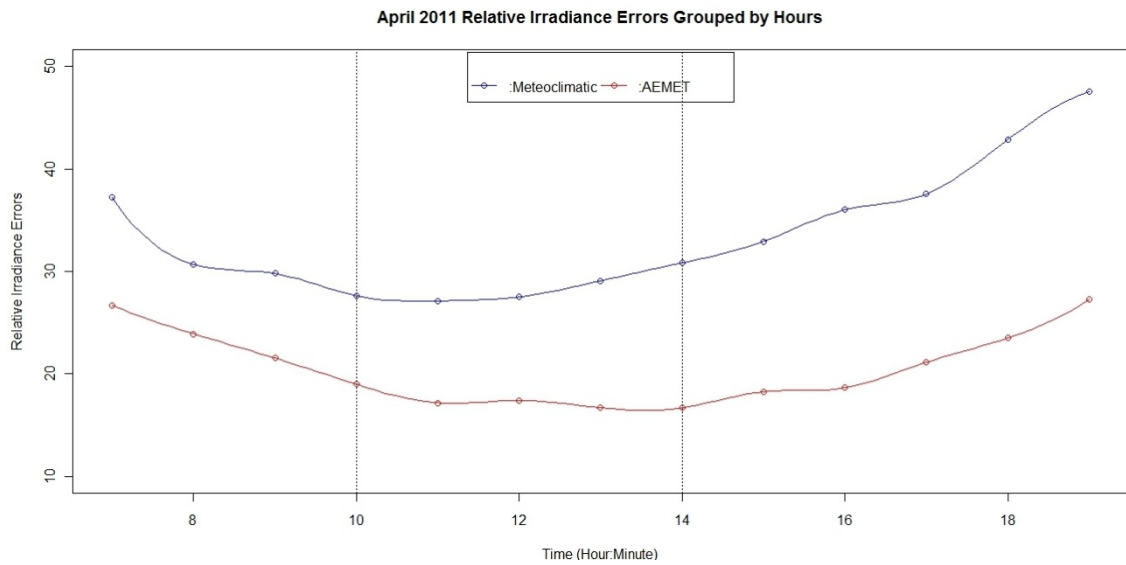


Figura 26. Error relativo agrupado por horas para el mes de Abril de 2011. Fuente: producción propia.

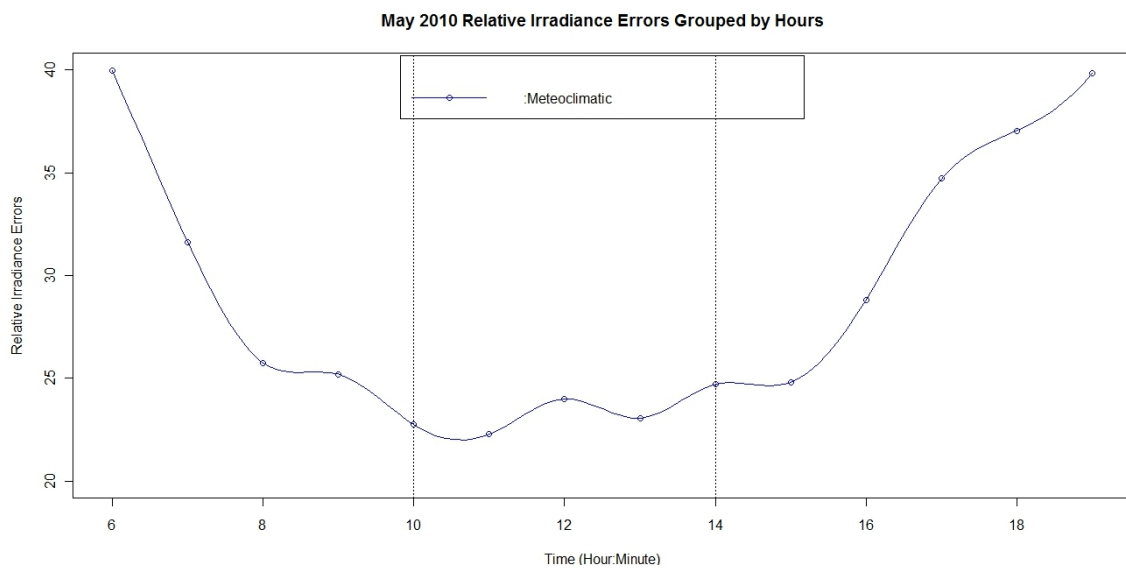


Figura 27. Error relativo agrupado por horas para el mes de Mayo de 2010. Fuente: producción propia.

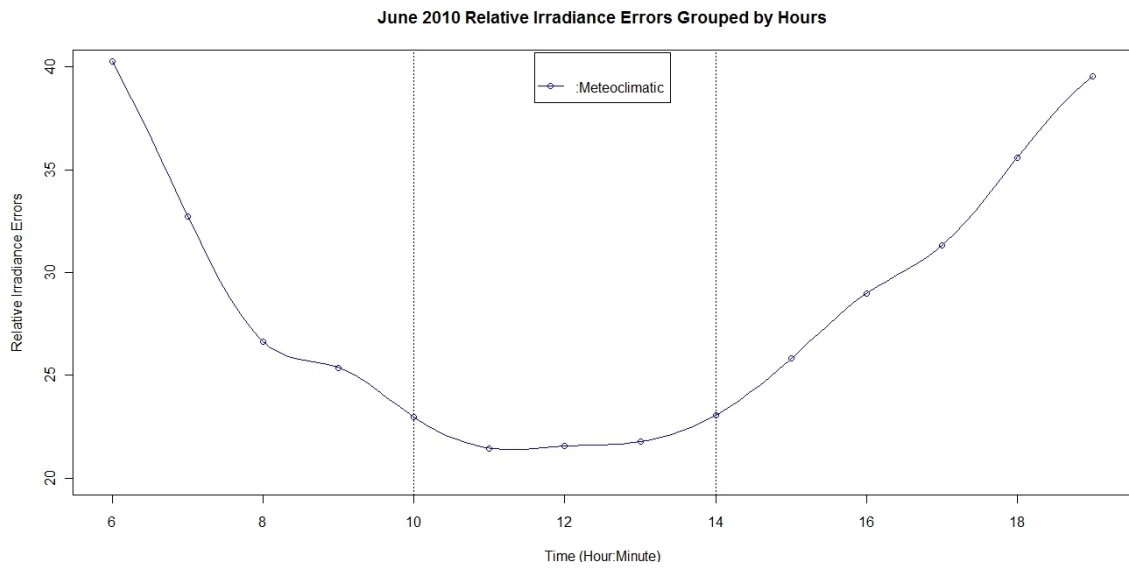


Figura 28. Error relativo agrupado por horas para el mes de Junio de 2010. Fuente: producción propia.

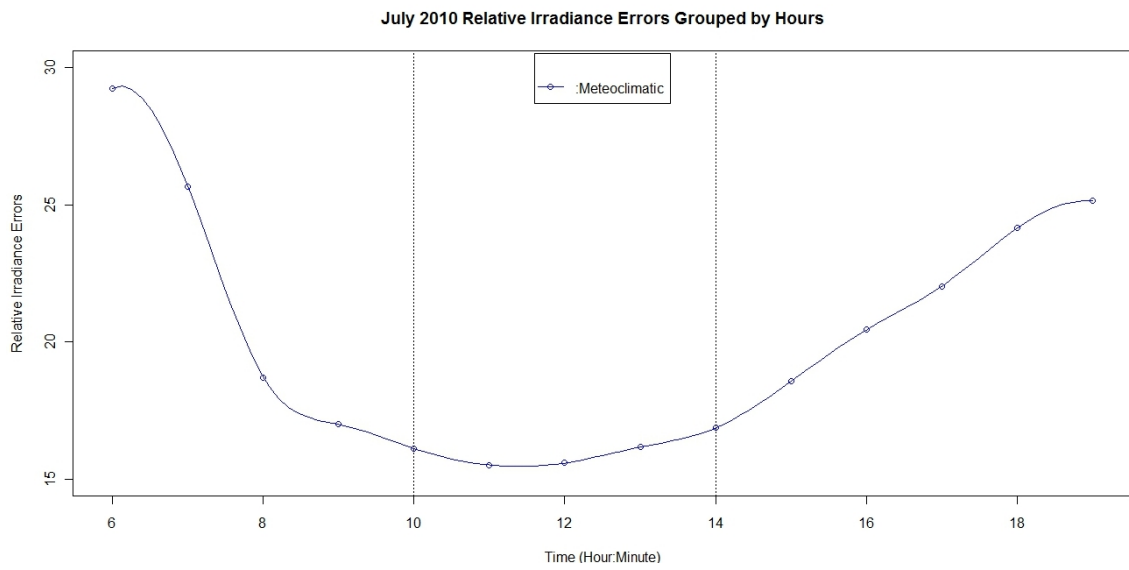


Figura 29. Error relativo agrupado por horas para el mes de Julio de 2010. Fuente: producción propia.

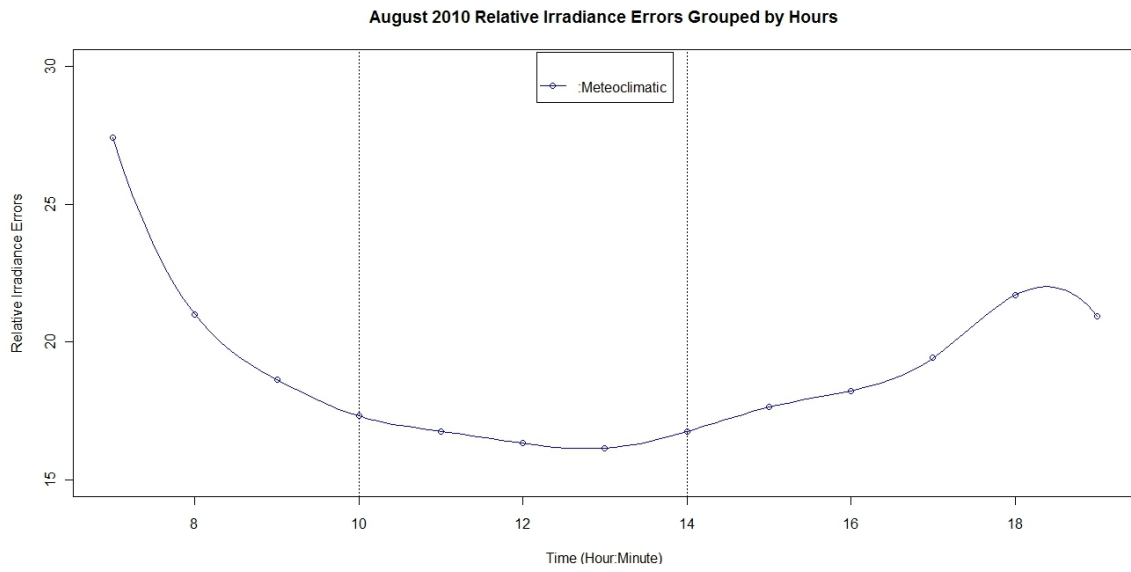


Figura 30. Error relativo agrupado por horas para el mes de Agosto de 2010. Fuente: producción propia.

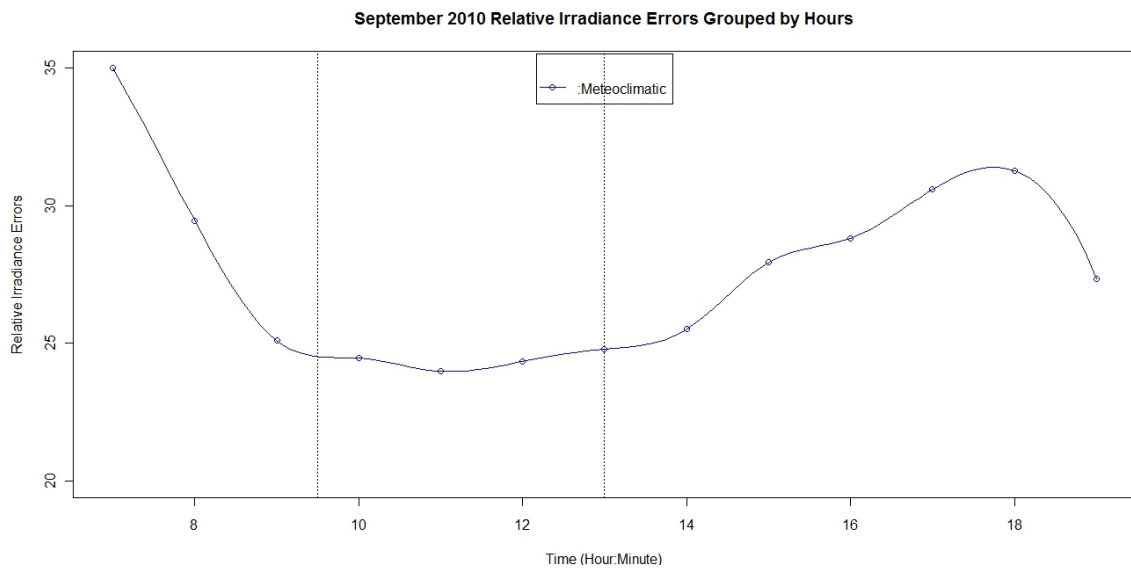


Figura 31. Error relativo agrupado por horas para el mes de Septiembre de 2010. Fuente: producción propia.

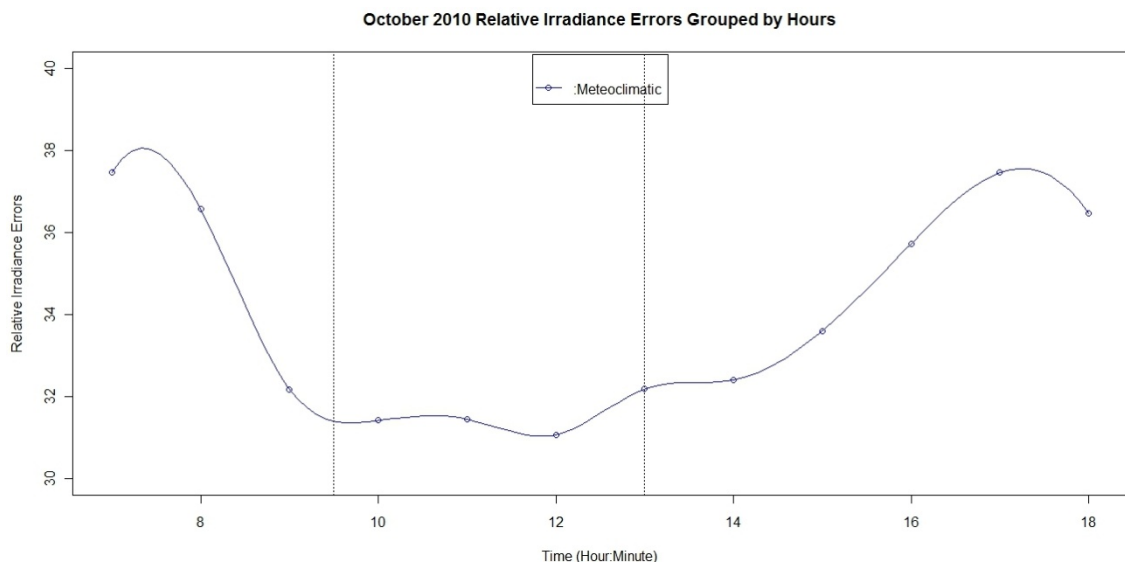


Figura 32. Error relativo agrupado por horas para el mes de Octubre de 2010. Fuente: producción propia.

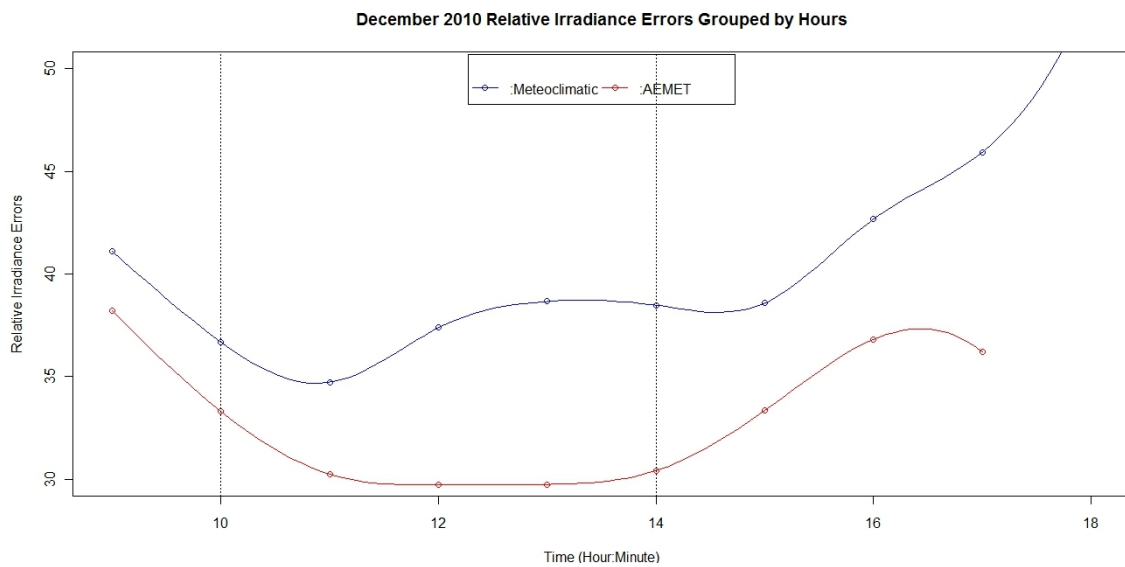


Figura 33. Error relativo agrupado por horas para el mes de Diciembre de 2010. Fuente: producción propia.

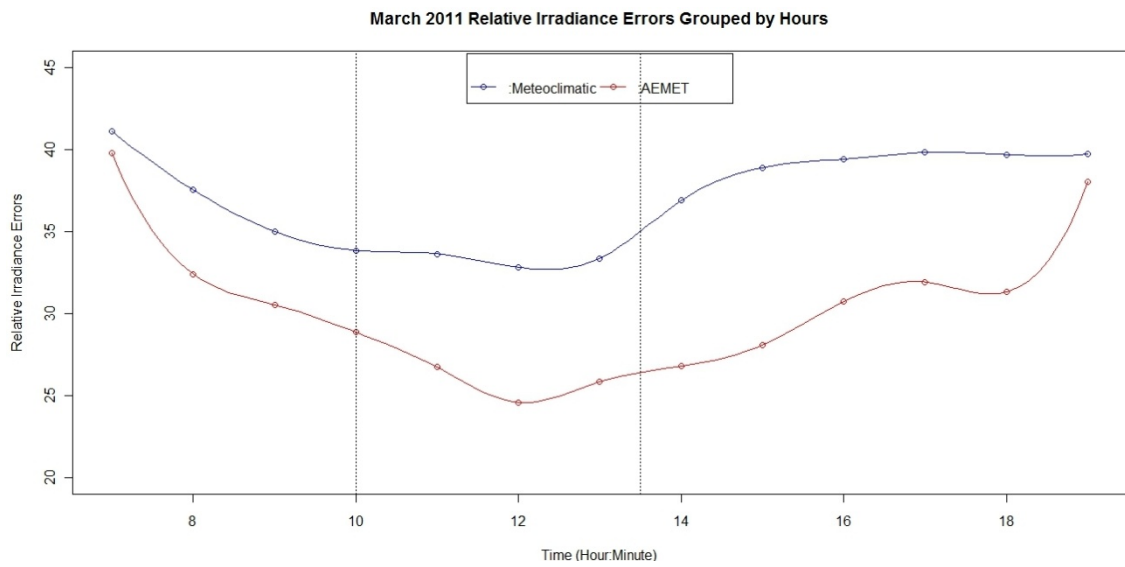


Figura 34. Error relativo agrupado por horas para el mes de Marzo de 2011. Fuente: producción propia.

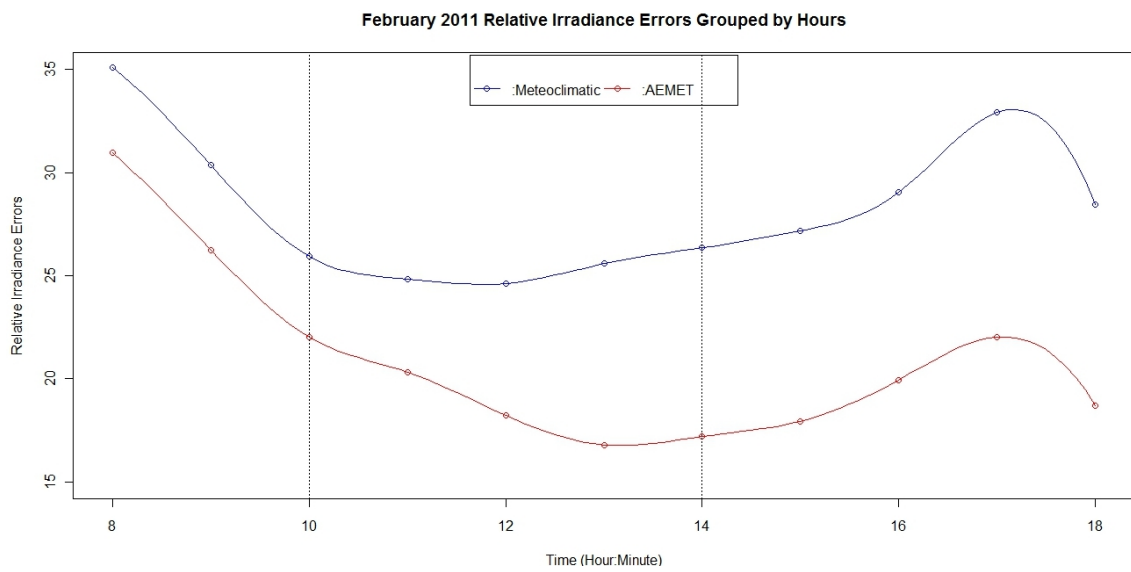


Figura 35. Error relativo agrupado por horas para el mes de Febrero de 2011. Fuente: producción propia.

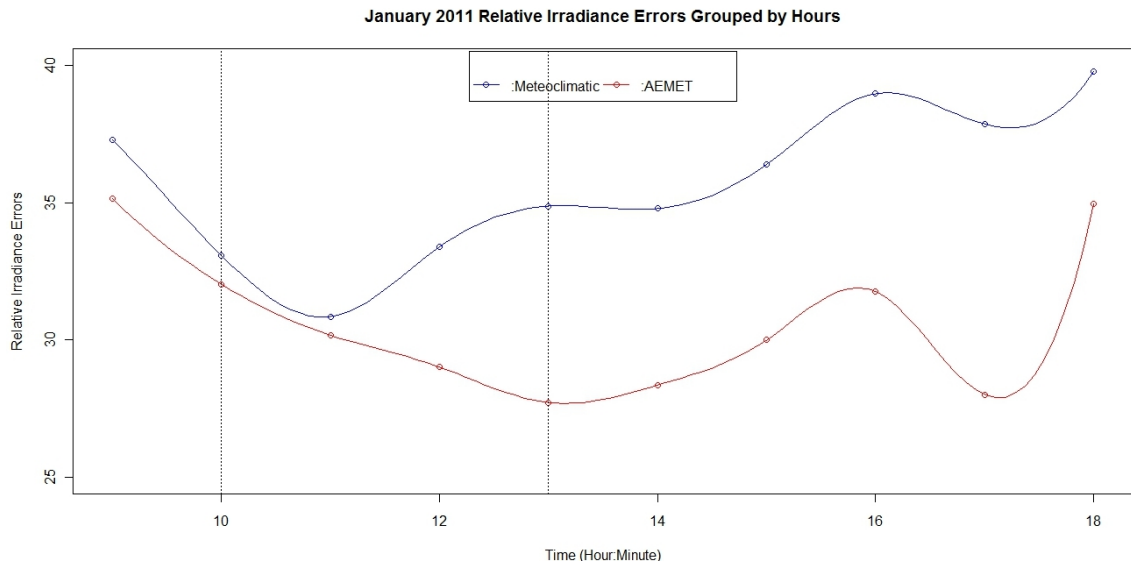


Figura 36. Error relativo agrupado por horas para el mes de Enero de 2011. Fuente: producción propia.