

# Análisis De La Variabilidad Interanual De La Radiación Directa Normal (DNI) En La Península Ibérica

María Isabel Tejera Buigues

*Máster en Geofísica y meteorología.  
Universidad de Granada*

**Abstract.** El consumo energético mundial se basa en recursos fósiles, los cuales son limitados. Es por ello que deben buscar nuevas formas de producción de energía. La energía solar juega un importante papel dentro de las energías alternativas. Es importante conocer la variabilidad del recurso solar para que sea competitiva, por ello es necesario analizar la variabilidad de la radiación y las causas de tal variabilidad. La nubosidad y los aerosoles son los grandes atenuantes de la radiación.

**Keywords:** DNI, nubosidad, aerosoles, NAO.

El consumo energético mundial ha experimentado un incremento importante en los últimos años basándose principalmente en los combustibles fósiles. Este hecho está provocado un agotamiento de las energías no renovables a la vez que se produce un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por lo que es necesario desarrollar energías alternativas, cómo son las renovables. La energía solar juega un importante papel en España, siendo uno de los países líderes en producción eléctrica en este sector a nivel mundial.

Las Centrales Térmicas de Concentración Solar son plantas de captación térmica activa, las cuales concentran la energía solar. Este tipo de centrales son solo capaces de transformar radiación directa normal (DNI), ya que los sistemas de concentración óptica que utilizan se basan en trayectorias definidas del haz solar. Las CTCS tienen la capacidad de almacenar energía y por lo tanto de ser gestionadas, es por este motivo que son la gran apuesta de futuro de las energías renovables. Existen dos tipos de tecnologías: colectores cilindro-parabólicos y centrales de torre.

Conocer la disponibilidad del recurso y su variabilidad es indispensable para conocer la viabilidad económica de la planta a lo largo de su vida media, la cual ronda los 20 años. La DNI suele presentar una gran variabilidad espacio-temporal, debida principalmente a la acción de las nubes y los aerosoles. La variabilidad interanual de la DNI depende la variabilidad interanual de la nubosidad y la carga de aerosoles, que suele estar asociada, a su vez, con cambios en la circulación de la atmósfera.

Usualmente, se han utilizado valores mensuales de AOD para el estudio de su influencia en el recurso solar, aunque esto puede conducir a errores debido a su alta variabilidad. La nubosidad es el mayor modulador de la radiación, para su estudio se utiliza el Cloud Fraction (CF), esto es el porcentaje de cielo cubierto por las nubes.

Los objetivos de este trabajo son analizar y caracterizar estadísticamente la variabilidad interanual de la DNI en España y a su vez, analizar las causas de dicha variabilidad, en concreto caracterizar el papel que juegan los aerosoles y la nubosidad.

El área de estudio comprende las estaciones de Ciudad Real, La Coruña y la PSA de Almería.

Como representativas del área de estudio, se han analizado datos de DNI de las estaciones de Ciudad Real, La Coruña y la Plataforma Solar de Almería (PSA). Estas estaciones representan zonas climáticamente bien diferenciadas y además son las que muestran un mayor registro de datos disponibles.

Los datos con los que se ha trabajado provienen de diferentes fuentes. Los datos de la DNI han sido proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología y la propia PSA. Los datos de aerosol provienen del sensor MODIS, el cual se encuentra a bordo del satélite TERRA. En concreto se trata de valores del Aerosol Optical Depth (AOD) En cuanto a los datos de nubosidad, se ha recurrido a las bases de datos de satélite de EUMETSAT. En concreto, los datos de nubosidad fueron medidos en un primer periodo por el radiómetro AVHRR, a bordo de los satélites de la NOAA, mientras que en un segundo periodo los datos fueron recogidos por el sensor SEVIRI, a bordo del satélite MSG. Por lo que respecta a los datos de la NAO, han sido obtenidos a partir de la web del profesor Tim Osborn.

Los datos, inicialmente horarios y diarios, fueron tratados hasta obtener anomalías estacionales y anuales. A partir de estas anomalías, se ha realizado una caracterización estadística para obtener la variabilidad de la DNI y también de la radiación Global Horizontal (GHI) y de la series de CF y AOD. Así, en una primera parte se han obtenido las anomalías máximas y mínimas para cada una de las estaciones del año y el conjunto anual. También se ha obtenido la desviación estándar, la media móvil y para finalizar esta parte, se ha realizado un análisis de tendencia de las series. En una segunda parte del trabajo, se han realizado análisis de correlación entre las variables, se ha ajustado un modelo de regresión múltiple para la DNI utilizando como variables explicadoras el CF y el AOD.. Por último, se han analizado los patrones de circulación asociados a las anomalías de la DNI, CF y AOD.

Los resultados obtenidos se presentan en dos módulos, un primero sobre la caracterización estadística de la variación interanual de la DNI y un segundo, en el que se analizan las causas de la variación de la DNI.

En primer lugar, respecto a los resultados obtenidos en la caracterización estadística de la variación interanual de la DNI. La estación de Ciudad Real presenta una mayor variabilidad en los meses de invierno, al igual que en la estación de la PSA.

Por el contrario, La Coruña presenta una mayor variabilidad de la DNI en los meses de primavera, aunque va seguido del invierno. Por lo que se concluye de la variación interanual de la DNI que la máxima variación en la Península Ibérica se observa en invierno. En el caso de la menor variabilidad interanual, la DNI se presenta con una menor variabilidad en las tres estaciones para los meses del verano. La estación de Almería presenta la menor desviación estándar de la DNI.

Respecto a la escala anual, la nubosidad y los aerosoles parecen tener la misma importancia frente a la variabilidad interanual de la DNI, cada estación registra un máximo en un trimestre. Mientras que Ciudad Real destacada por su variabilidad en los meses invernales, La Coruña lo es en otoño y la PSA en verano. Es por esto, por lo que no se puede hablar de un mismo patrón para las tres estaciones. Los aerosoles, por su parte, alcanzan una máxima variabilidad en Ciudad Real en otoño coincidiendo con la PSA de Almería, en cuanto a La Coruña registra las máximas anomalías en verano.

A grandes rasgos, se ha observado en las distintas estaciones como el aerosol y la nubosidad influyen en la DNI que llega a la superficie y por tanto. La variabilidad interanual en España es muy distinta de una estación a otra, ya que dependerá de la exposición que tenga la estación a la entrada de frentes, la cercanía a lugares con mayor predisposición a los aerosoles, etc. Cabe destacar a la estación de la PSA de Almería, esta es la estación que menor variabilidad de la DNI registra, tanto a escala anual como trimestral. Por esta razón, se demuestra que es una óptima localización para una CTCS.

Respecto a las tendencias, se puede observar que las pendientes son positivas en todas las estaciones, lo que significa que el recurso solar aumenta cada año. En el caso de Ciudad Real el incremento es mayor en las estaciones de otoño e invierno, mientras que en La Coruña y en la PSA el aumento de  $w/m^2$  año es mayor para el otoño y la primavera.

En segundo lugar, se han analizado las causas de la variación de la DNI, a partir de coeficientes de correlación, análisis de regresión múltiple y patrones de circulación.

Las correlaciones obtenidas en la segunda parte de los resultados, muestra una clara relación entre la variabilidad de la DNI y los efectos de la nubosidad y de los aerosoles. En el caso de Ciudad Real, los aerosoles tienen una mayor importancia para explicar de manera lineal la variación interanual de la DNI, excepto en el otoño. En La Coruña se observa una alta correlación en todas las estaciones entre la DNI y el aerosol, pero es durante la primavera y el verano donde son más importantes, pese a que se presenten las mayores correlaciones entre DNI y la nubosidad. La PSA de Almería presenta grandes correlaciones con los aerosoles durante la primavera y el verano, pero las mayores correlaciones de la DNI, con el AOD y el CF, se dan en invierno.

Respecto a los resultados obtenidos en el análisis de regresión múltiple, el coeficiente de determinación para Ciudad Real es especialmente elevado en el invierno, esto explica la alta correlación del CF y el AOD con la DNI. En cuanto a la estación de La Coruña, el modelo de regresión múltiple explica una gran cantidad de la varianza observada en las estaciones de invierno y otoño. La varianza explicada de La Coruña guarda grandes similitudes con la estación de Ciudad Real. Por lo que respecta a la PSA, muestra coeficientes de determinación muy modestos, por lo general menores a los que se dan en La Coruña y Ciudad Real.

Tras los resultados obtenidos, se observa que la zona más óptima del recurso solar es la Plataforma Solar de Almería, debido a su menor variabilidad de la DNI, por lo que se obtiene un recurso más estable. Mientras que La Coruña y Ciudad Real, presentan una mayor variabilidad debido a la nubosidad y a los aerosoles.

## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría agradecer el enorme apoyo y dedicación del que ha sido mi director de tesina, el Dr. José Antonio Ruiz Arias. Así, a su vez presentar mi máximo agradecimiento al Dr. David Pozo Vázquez y a Álvaro Linares Rodríguez la ayuda prestada durante todos estos meses. También quisiera agradecer a AEMET por la cesión de los datos de radiación de las estaciones de La Coruña y Ciudad Real, y a Stefan Wilbert, de la Plataforma Solar de Almería, por la cesión de los datos de radiación de este emplazamiento.

En cuanto al ámbito personal, querría agradecer el apoyo recibido por parte de mis abuelos, madre y tía, a lo largo de mi vida académica.

A Carlos Navarro Blasco, por su comprensión, su paciencia y el apoyo diario que me ha brindado. Gracias.

También querría agradecer la ayuda prestada durante el máster de mis compañeros Luis Vizcaíno y Daniel Torres. Y como no, gracias a mis compañeros, con los que ha sido un verdadero placer compartir este curso.