

Evaluación de la influencia de las nubes en la Irradiancia Directa Normal (DNI) en el contexto de la energía solar termoeléctrica

Maidier Laka Iñurrategi

Vicomteh-IK4, Mikeletegi pasealekua 57, 20009 Donostia-San Sebastián, Spain
mlaka@vicomtech.org

Resumen. Las centrales de energía solar de concentración requieren conocer con precisión la irradiancia normal directa (DNI) en cada punto de la planta para poder programar de forma eficaz la producción energética. Para ello requieren de algoritmos de predicción a corto plazo (nowcasting) que al mismo tiempo requieren de un alto conocimiento de los procesos de extinción que atenuan la DNI al atravesar la atmósfera. Entre ellos, el más relevante es la presencia en forma y cobertura de nubes. En este trabajo, se ha estudiado el comportamiento de la DNI en función de la presencia de diferentes tipos de nube.

Keywords: Recurso solar, DNI, clasificación de nubes, nowcasting.

INTRODUCCIÓN

Las centrales de energía solar de concentración (CESC), o termosolares o termoeléctricas, utilizan sistemas de espejos que permiten focalizar la irradiancia normal directa (DNI). A través del punto de focalización se hace pasar un fluido que es elevado a altas temperaturas y que, posteriormente, cede su calor para generar electricidad en una turbina. Para la operación de estas plantas es de vital importancia conocer la distribución espacial de la DNI sobre el campo solar de la planta (usualmente varios kilómetros cuadrados) con gran precisión espacial (del orden de 100 metros) y con cierto tiempo de adelanto, en un proceso que se denomina “nowcasting” de la DNI.

Según la acción COST Wire los modelos para la predicción a muy corto plazo de la DNI se enfrentan al reto de obtener mayor precisión espacial (del orden de 100 metros). Para el desarrollo de estos modelos en primer lugar hace falta seleccionar los instrumentos que vayan a aportar información relevante que haga que la clasificación automática de nubes sea lo más exacta posible. En segundo lugar, desarrollar algoritmos que puedan predecir a partir de la información aportada por los instrumentos el tipo de nubes presente en el lugar de interés y su posición respecto a la planta y el sol. Y en último lugar, conocer la influencia del tipo de nube sobre la atenuación de la DNI, es decir, poder predecir la DNI en función del tipo de nube presente.

No son muy abundantes los estudios sobre la influencia del tipo de nube sobre la DNI. Uno de los primeros estudios que profundiza sobre el tipo de nube y la

irradiancia fue publicado en 1980 por F. Kasten y G. Czeplak (Gerhard, 1980) en él se analizan los datos de medición de la irradiancia global y difusa en relación al tipo de nubosidad. Más reciente es el estudio que R. Matuszko publicó en 2011 centrado en la influencia de las nubes y su cobertura únicamente sobre la irradiancia global (Matuszko, 2011). Otro estudio relevante es el realizado por L. Bugliaro en 2011 que profundiza sobre la influencia que los Cirros tienen sobre la producción en los paneles fotovoltaicos (Luca Bugliaro, 2011). Por último, cabe destacar que en la Universidad de Almería también se han hecho estudios que relacionan el estado del cielo con la irradiancia directa normal (M. Martínez-Chico, 2011) aunque en función de umbrales preestablecidos de transmitancia y no del tipo de nube presente.

En este contexto, este trabajo tiene como primer objetivo definir una metodología para la clasificación supervisada de nubes basada en el empleo de una cámara de nubes y un ceilómetro, evaluando las posibles mejoras que introduce la suma del ceilómetro a los algoritmos de detección y clasificación basados únicamente en la cámara. En segundo lugar, se pretende analizar la influencia de los distintos tipos de nubes en la DNI y su variabilidad.

DATOS

Los datos empleados en este estudio se han tomado de la estación radiométrica situada en la Universidad de Jaén (37.79 N, 3.79 W, 454 msnm). Esta estación cuenta, entre otros sensores, con toda la instrumentación objeto de este estudio situada en una misma localización: un ceilómetro, un seguidor solar con medidas de radiación global y difusa y una cámara de nube.

El estudio se ha llevado a cabo con una secuencia de 15 días del mes de marzo (del 6 al 21) durante los cuales pasaron sobre el sur de la Península Ibérica varias perturbaciones. Los distintos frentes asociados a estas perturbaciones dieron lugar al paso de una gran diversidad de tipos de nubes sobre la zona de estudio. En particular, en el periodo de estudio están presentes prácticamente todos los tipos principales de nubes a excepción de las nubes de tipo convectivo.

Cabe destacar que se han tomado las medidas con elevaciones solares mayores a 15° ya que para elevaciones menores cuando la posición del sol es cercana al horizonte la producción energética en una planta termosolar es muy ineficiente (M. Martínez-Chico, 2011). Por otro lado, al centrarse el estudio durante el último mes de invierno, tampoco se han obtenido elevaciones solares mayores a 60°.

En concreto en este estudio se han empleado un ceilómetro CHM 15k Jenoptik, una cámara de nube TSI 880 de la casa YES (Yankee Environmental Systems), un pirheliómetro de la marca Delta-Ohm Lp Pyrhe 16 montado sobre un seguidor solar de la marca EKO modelo Sun Tracker STR 22G y mapas diarios de presión en superficie y frentes reportados por la oficina meteorológica del Reino Unido Met Office.

En la **TABLA 1** se han recogido los productos que de las salidas que proveen estas fuentes que se han tenido en cuenta en la elaboración de este trabajo.

TABLA 1. Resumen de los productos utilizados en el estudio.

Instrumento	Producto
Ceilómetro	CBH (Altura de las capa de nubes) BCC (% cobertura nubosa de la capa más baja) TCC (% cobertura nubosa total)
Cámara de nube	percent.thin (% cobertura nubosa de nube fina) percent.opaque (% cobertura nubosa de nube fina gruesa) imagen jpg
Pirheliómetro	DNI (W/m ²)
Observación sinóptica	Mapa de presión en superficie

METODOLOGÍA

El periodo de muestreo de la cámara de nubes y del pirheliómetro es de 30 segundos mientras que el del ceilómetro es de 15 segundos. Dado el enfoque del presente trabajo, orientado hacia la aplicación en energía termosolar, se ha llevado a cabo un promediado de los datos del ceilómetro, la cámara y el pirheliómetro con el objetivo de trabajar con una resolución temporal de 5 minutos. En el caso de las imágenes de la cámara de nubes, se ha considerado la imagen obtenida justo en mitad de cada intervalo de cinco minutos.

A continuación se han clasificado los tipos de nube de cada muestra en un proceso de clasificación supervisada a partir de la información reportada por el ceilómetro y la cámara y según 8 clases distintas de nube siguiendo la metodología de Heinle et al. (A. Heinle, 2010) y Kazantzidis et al. (A. Kazantzidis, 2012).

Las nubes se han clasificado teniendo en cuenta la altura y la forma. La cámara de nube provee imágenes con las que se puede apreciar la forma de las nubes. Para concretar la altura de las nubes y poder afirmar si son bajas, medias o altas se ha empleado la información de altura da el ceilómetro. Este dato también ha sido utilizado cuando las capas más bajas cubren toda la imagen tomada por la cámara no dejando ver si hay más capas de nube a mayor altura. Con la información del tipo de nube y de su altura se han clasificado todos los intervalos objeto de este estudio. Los mapas de situaciones sinópticas han sido útiles para mantener la coherencia entre el tipo de nube clasificado y el esperado según la presencia frentes.

Con los intervalos clasificados, el estudio se ha llevado a cabo en dos fases. En primer lugar para cada día del periodo de estudio se ha representado, junto a la tipología de nubes, la DNI y su desviación estándar a lo largo del día. Para ello se ha tomado la media horaria de la DNI y se ha calculado la desviación estándar en intervalos de una hora. La media horaria de la DNI se ha tomado en porcentaje sobre la DNI medida el día 18 de marzo. Al no haber presencia de nubes a lo largo de este día se ha tomado como referencia de irradiancia normal directa máxima.

En segundo lugar, se han seleccionado aquellos días en los que la presencia de un tipo de nube ha sido mayoritaria y casi única para así estudiar el comportamiento de la DNI con respecto a cada tipo de nube. Los resultados de estos análisis hay que tomarlos con precaución, pues no siempre las nubes analizadas están interpuestas entre haz solar y el instrumento de medida de la radiación. En general, solo los resultados asociados a tipologías de nubes que cubren homogéneamente el cielo cabe considerarlos representativos de la atenuación que este tipo de nubes ejercen en la

DNI. La desviación estándar de la DNI asociada será representativa del tipo de variabilidad en el recurso solar que cabe esperar sobre una planta termosolar en presencia de las distintas tipologías de nubes. En particular, este estudio de la desviación estándar es importante para caracterizar los transitorios que cada tipo de nube puede causar en la producción de la planta, un fenómeno muy poco deseable.

Los resultados se han recogido en tablas en las que se ha mostrado la DNI horaria en porcentaje sobre un día de referencia, su desviación estándar horaria y se han agrupado según la cobertura nubosa en octas y la elevación solar.

RESULTADOS

Se ha realizado la clasificación supervisada sobre 1620 intervalos de estudio cuyos resultados se recogen en la **TABLA 2**. Cabe destacar que no se ha encontrado presencia de Cirrocúmulos entre las nubes altas, Altocúmulos entre las nubes medias ni Estratos entre las nubes bajas. La presencia de nubes bajas que traen precipitaciones ha sido la más abundante. Esto se ha debido al periodo de estudio elegido, durante el cual pasaron sobre la zona de estudio varios frentes cálidos (asociados a la presencia de nubes bajas y precipitaciones) así como frentes fríos.

TABLA 2. Resumen de los resultados de clasificación de nubes en el periodo de estudio.

Medida	Muestras	Medida	Muestras
Días de estudio	15	Cielo despejado	275
Casos clasificados (5 minutos)	1620	Nubes altas	266
Clasificaciones con más de una capa	95	<i>Cirros/cirrostratos</i>	265
		<i>Cirrocúmulos</i>	1
		Nubes medias	143
		<i>Altostratos</i>	19
		<i>Altocúmulos</i>	124
		Nubes bajas	954
		<i>Estratos</i>	0
		<i>Cumulos</i>	311
		<i>Stratocumulos</i>	359
		<i>Nimbostratos</i>	284

Del estudio de la DNI respecto a los tipos de nubes se ha podido constatar que las nubes causan una fuerte atenuación sobre la DNI. Las nubes altas causan una atenuación del orden del 15% y presentan una baja variabilidad temporal. La presencia de estas nubes no impediría el funcionamiento de una planta de concentración solar que puede operar siempre que la irradiancia sea estable y mayor que 200 W/m² (Meyer, 2011).

Las nubes medias suelen presentarse cubriendo el cielo en gran parte y ejerciendo una atenuación mayor al 90% para cielos totalmente cubiertos. Esta fuerte atenuación en cambio sí podrá impedir la producción en la planta teniendo que inyectar calor por otros medios o parar la producción.

Las nubes bajas son nubes densas que en general ejercen una fuerte atenuación sobre la DNI. Con valores bajos de la cobertura nubosa (1-3 octas) la atenuación es del orden del 20%. Sin embargo, para cielo totalmente cubierto la atenuación es

prácticamente del 100%. A pesar de que para bajas coberturas nubosas no se produzcan atenuaciones demasiado altas, la alta variabilidad de la DNI en estos casos hace que las centrales tampoco puedan operar adecuadamente ya que el estrés térmico que esta variabilidad provoca puede causar daños en las infraestructuras.

Al mismo tiempo, se ha estudiado la dependencia de la atenuación sobre la DNI en función de la elevación solar. En el caso de las nubes bajas, no es relevante, pero en el caso de las nubes medias, en mayor medida que en las altas, se observa que para una misma cobertura nubosa la atenuación es menor según aumenta la elevación solar.

CONCLUSIONES

En las conclusiones se han recogido varias desventajas que presenta el ceilómetro frente a la cámara. No obstante, presenta una clara ventaja: detecta en un alto porcentaje la presencia de nubes altas. Estas nubes son nubes finas que los algoritmos de detección basados en las imágenes de la cámara no suelen detectar. Tal y como se ha resaltado en el punto anterior, las nubes altas no impedirán el funcionamiento de las plantas aunque la atenuación del 15% deberá tenerse en cuenta. Conocer y poder prever la presencia de estas nubes será de gran ayuda para la gestión de la central ya que podrán adecuarla a un nivel menor de producción, pero sin tener que pararlo.

Como consecuencia, de este trabajo se extrae la recomendación de mejorar los modelos de predicción local a corto plazo de la DNI incluyendo los ceilómetros junto a la cámara de nube como elementos de entrada en los algoritmos de detección y clasificación automática de nubes.

REFERENCIAS

- Bugliaro, L. (2011). Influence of Cirrus Clouds on the Efficiency of CVP Modules. *Fachtagung für Energiemeteorologie*. Mremerhaven.
- Heinle, A. (2010). Automatic cloud classification of whole sky images. *Atmospheric Measurement Techniques* 3 , 557-567.
- Kazantzidis, A. (2012). Cloud detection and classification with the use of whole-sky ground-based images. *Atmospheric Research* 113 , 80-88.
- Martínez-Chico, M. (2011). Cloud classification in a mediterranean location using radiation data and sky images. *Energy* 36 , 4055-4062.
- Matuszko, D. (2011). Influence of the extent and genera of cloud cover on solar radiation intensity. *International Journal of Climatology* .
- Meyer, R. (2011). *Uncertainties of solar resources and their influence on yield of CDP and PV plants*. Suntrace GmbH.
- Tapakis, R. (2012). Equipment and methodologies for cloud detection and classification: A review. *Solar Energy* .