

# Evaluación De La Estimación De La Nubosidad Del Modelo Meteorológico WRF En El Contexto De La Energía Solar

Clara Arbizu Barrena

*Grupo MATRAS (Modelización de la Atmósfera y Radiación Solar)  
Departamento de Física de la Universidad de Jaén.*

**Abstract.** La mejora de la fiabilidad de las predicciones de la radiación normal directa (DNI) con modelos meteorológicos constituye un punto clave para la integración de la energía solar de concentración en la red y, por lo tanto, para el desarrollo de esta energía. En este ámbito, el papel de las nubes es esencial, por su enorme influencia en la DNI. En este trabajo se presentan los resultados de un estudio sobre la fiabilidad de las estimaciones de la cobertura nubosa del modelo meteorológico WRF. Para este fin, la estimación de la nubosidad que hace el modelo, empleando diferentes configuraciones físicas y resoluciones espaciales, ha sido comparada con medidas de nubosidad obtenidas con un ceilómetro y una cámara de nubes, pertenecientes a la estación meteorológica de la Universidad de Jaén, a lo largo de un periodo de 15 días y con una resolución temporal de 5 minutos. Como resultado principal derivado del presente trabajo se pretende: 1) obtener una configuración ideal para el pronóstico de nubes con el modelo WRF en la zona de estudio y 2) estimar la fiabilidad de las predicciones de la DNI con este modelo en el estado del arte actual.

**Keywords:** Recurso solar, DNI, nowcasting, WRF, parametrizaciones, microfísica de nubes.

## INTRODUCCIÓN

El consumo mundial de energía está fundamentalmente basado en fuentes no renovables de energía fósil. Se espera que entre 2006 y 2030 la demanda mundial de energía primaria y de electricidad se incremente considerablemente, provocando una subida de los precios. El grado de autoabastecimiento energético es España es todavía en torno al 25%, por lo que se tiene que seguir trabajando para reducir la dependencia con el exterior. Por otro lado, el informe de cambio climático llevado a cabo por el grupo de trabajo del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), concluyó que el incremento de 0.76°C de la temperatura media global observado desde mitad del siglo XX es consecuencia directa del aumento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero, debido a la actividad humana. Es necesario, pues, impulsar la investigación y el desarrollo de fuentes alternativas de energía basadas en la explotación de recursos renovables.

El sistema eléctrico español se caracteriza por su gran complejidad. A parte de las fuentes convencionales de producción de electricidad como el carbón, petróleo, gas natural y nuclear hay una notable contribución procedente de fuentes renovables: hidráulica, eólica, solar y biomasa. Como se sabe, el sistema eléctrico tiene que estar

balanceado en todo momento. Actualmente en España, los productores están obligados a comunicar con un día de antelación la producción horaria que inyectarán en la red, permitiéndose unos márgenes reducidos de desviación fuera de los cuales se aplica una penalización económica.

El principal problema de las energías renovables radica en la integración de producción eléctrica en el sistema de distribución de la electricidad de cada país. La producción de estas energías está condicionada por variaciones en el tiempo y en el clima. El futuro éxito de las energías renovables vendrá determinado, en gran medida, por una adecuada evaluación de los recursos disponibles y una correcta previsión de su variabilidad.

Una de las tecnologías existentes de aprovechamiento de energía solar en la que España es pionero son las centrales termoeléctricas de concentración, que utilizan la DNI para producir la energía. Este tipo de radiación se ve muy afectada por los aerosoles suspendidos en la atmósfera y sobre todo por la nubosidad. Hoy en día, para observar las nubes contamos con diversas técnicas, como son por ejemplo, las imágenes que de satélites meteorológicos, así como las cámaras de nubes (de cielo o *skycam*), que nos permiten obtener información del movimiento de las nubes. Sin embargo, la modelización y predicción de la nubosidad a medio plazo sólo es posible con una herramienta: los modelos meteorológicos de predicción numérica (MMPN). La complejidad de los fenómenos que dan lugar a la formación de las nubes hace que esta modelización diste de ser adecuada en el contexto de la energía solar.

El éxito de la predicción con MMPN se basa en un conocimiento preciso del estado de la atmósfera en un tiempo inicial y las leyes físicas que gobiernan la transición al siguiente estado. Primero se elige un dominio, se discretiza a la resolución deseada, y luego se resuelven numéricamente las ecuaciones de las leyes físicas y termodinámica. Pero las nubes tienen normalmente escalas espaciales menores que la resolución del modelo y no se puede resolver la microfísica asociada con la formación de nubes, por lo que es necesario representar los procesos físicos mediante parametrizaciones. Estas no son más que un conjunto de ecuaciones aproximadas que calculan las variables meteorológicas a escala sub-rejilla a partir de sus análogas sí resueltas explícitamente con las ecuaciones que rigen la dinámica atmosférica y los intercambios de energía.

La bibliografía existente muestra que la utilización que el pronóstico de la DNI con MMPN ofrece aún una fiabilidad muy pobre, causada, principalmente, por una inadecuada representación de la nubosidad. Sin embargo, no existen todavía trabajos en la bibliografía evaluando esta representación.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la fiabilidad de las estimaciones de la cobertura nubosa del MMPN WRF. Para este fin, la estimación de la nubosidad que hace el modelo, empleando 6 esquemas diferentes de microfísica, ha sido comparada analítica y visualmente con medidas de nubosidad obtenidas con un ceilómetro y una cámara de nubes, a lo largo de un periodo de 15 días. Como resultado principal derivado del presente trabajo se va a obtener una configuración ideal para el pronóstico de nubes con el modelo WRF en la zona de estudio. En consecuencia, dado el papel que juegan las nubes en la radiación, esta configuración será también la ideal para el pronóstico de la DNI. Dado el marco del trabajo, que es el pronóstico de la DNI para plantas termosolares, se ha llevado a cabo, finalmente, un estudio preliminar

de la capacidad del modelo para evaluar la presencia de rampas (fuertes variaciones en la DNI) utilizando la mejor configuración del modelo obtenida.

## DATOS Y METODOLOGÍA

Los instrumentos principales que se han utilizado para evaluar la modelización de las nubes que hace el modelo WRF son un ceilómetro y un pirheliómetro pertenecientes a la estación meteorológica de la Universidad de Jaén, obteniendo alturas de la base de las nubes con el primer instrumento y DNI con el segundo. También han sido útiles las imágenes de la cámara de nubes de la misma estación, mapas sinópticos de Europa realizados por la oficina meteorológica del gobierno del Reino Unido y la clasificación con 8 tipologías distintas de nubes (cirrostratos, cirrocúmulos, altoestratos, altocúmulos, nimbostratos, estratos, estratocúmulos y cúmulos) que Maider Laka Iñurrategi (Laka- Iñurrategi, 2013) ha realizado en el mismo periodo de tiempo que este estudio: del 6 al 21 de marzo de 2013.

WRF es un MMPN desarrollado por el estadounidense NCAR (National Center for Atmospheric Research). Para realizar las simulaciones se han asignado cuatro dominios de 90 celdas de lado, centrados en la Universidad de Jaén. Las resoluciones de estos dominios son (aprox.) 34, 12, 4 y 1 km respectivamente.

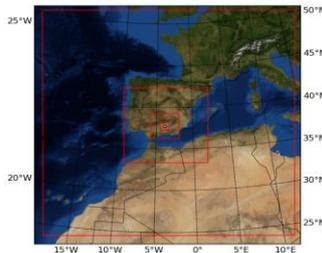


FIGURA 1. Anidamiento de los dominios utilizados en el estudio.

Para este estudio comparativo de parametrizaciones de microfísica de nubes se ha realizado la misma simulación con todos los parámetros fijos excepto mp\_physics. Se han escogido las parametrizaciones:

1. *WRF Single-Moment 6-class scheme (WSM6)* (Hong, 2006)
2. *New Thompson et al. scheme (THOM)* (Thompson, 2008)
3. *Milbrandt-Yau Double-Moment 7-class scheme (MILB)* (Milbrandt, 2005)
4. *Morrison double-moment scheme (MORR)* (Morrison, 2009)
5. *Stony Brook University (Y. Lin) scheme (SBLi)* (Lin, 2011)
6. *NSSL 2-moment scheme (NSSL)* (Mansell, 2010)

Se clasificaron las nubes registradas tanto del ceilómetro como de WRF según su altura en bajas (<3 km), medias (3 - 6 km) y altas (>6 km). A partir de esta clasificación se evaluó la representación de las nubes que hace el WRF para distintas resoluciones espaciales utilizando correlaciones y diversos índices estadísticos: Porcentaje Correcto (PC), Probabilidad de Detección (POD) y Ratio de Falsa Alarma (FAR) obtenidos a partir de una tabla de contingencia. También se llevó a cabo un

análisis visual detallado para una selección de 5 días y un análisis de rampas generando valores sintéticos de DNI basadas en la nubosidad obtenida con WRF.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Como resultado del análisis de sensibilidad espacial, para los resultados presentados a continuación se evaluará la representación que WRF hace de la nubosidad en: el punto de simulación centrado sobre la Universidad para el caso de la simulación de 12 km y en los puntos situados al suroeste y noroeste para los casos de la simulación de 4 y 1 km, respectivamente. Este estudio de correlaciones muestra en general valores bajos. En casi todas las parametrizaciones, los valores máximos se encuentran para la simulación con menor resolución (12 km) y los más bajos para la de mayor resolución (1 km). Por otra parte, la parametrización WSM6 es la que muestra, en general, correlaciones más altas.

Al estudiar las correlaciones separando por tipo de nube (altas, medias y bajas) los resultados muestran que de nuevo las correlaciones más elevadas (~0.34) se obtienen para el dominio con menor resolución (12 km). Por otro lado, las nubes altas son las que muestran una mayor correlación, y las nubes medias, en general, la menor. En conjunto, la parametrización WSM6 muestra los mejores resultados, si bien las parametrizaciones MILB y MORR muestran resultados similares para nubes altas.

Del estudio estadístico utilizando la tabla de contingencia deducimos que:

- **Nubes bajas.** El modelo WRF generó menos de un 60% de las nubes bajas que el ceilómetro detectó. De entre las que el WRF generó, el 50% eran erróneas (no fueron detectadas por el ceilómetro).
- **Nubes medias.** Este es el tipo de nubes que peor simula el modelo WRF. Apenas generó el 40% de las nubes medias que detectó ceilómetro. De entre las que generó el modelo el 70% eran erróneas. Para este tipo de nubes la parametrización MORR muestra mucho mejores resultados que el resto.
- **Nubes altas.** El modelo WRF generó en torno al 50% de las nubes altas detectadas por el ceilómetro. De entre las que el modelo generó, alrededor del 70% fueron erróneas.

La comparativa de parametrizaciones utilizando estadísticos de la tabla de contingencia muestra que la MORR es la que ofrece mejores prestaciones, aunque las diferencias con la parametrización WSM6 son muy leves. Dado que esta última parametrización mostró mejores correlaciones, se ha seleccionado, finalmente, para llevar a cabo los estudios de las siguientes secciones.

Realizando el mismo estudio estadístico en función de la tipología de nubes (nubes bajas, medias y altas por separado y para combinaciones de todas ellas) se concluye que el modelo meteorológico WRF representa bastante bien las situaciones en las que el cielo está totalmente despejado (PC y POD del 80%). Otra situación bien representada por WRF son las nubes altas, sin más capas de nubes por debajo (PC del 80%, POD del 70% y FAR del 20%). Esta es una característica positiva del modelo WRF frente a los algoritmos de detección de nubes con cámara de cielo, que fallan mucho en la detección de este tipo de nubes. Es importante destacar que con este tipo de nubosidad las plantas termosolares son capaces de operar. La representación

nubosa por parte del modelo del resto de tipología de nubes es aceptable, siendo la peor situación la que tiene presencia de tres tipos de nubes a la vez. No se encuentran resultados de una resolución espacial particular significativamente mejor que las demás.

Del análisis visual detallado por días podemos concluir que, en general, WRF representa bastante bien la nubosidad, la precipitación y capta la entrada de frentes meteorológicos aunque a veces no con mucha exactitud temporal. Suele adjudicar a la nubosidad un espesor mayor al observado por el ceilómetro. En los casos en los que el ceilómetro registró nubes muy pequeñas, el modelo pudo no haberlas generado. En este aspecto hay que decir que las diferencias entre resoluciones espaciales y temporales entre las mediciones del ceilómetro (15s) y las simulaciones de WRF (5min) pueden ser importantes. El problema de la resolución temporal se ha querido solventar con el uso de promedios cada 5 minutos de los datos del ceilómetro. Téngase en cuenta que una resolución de 5 minutos es muy alta computacionalmente hablando. Según avance el desarrollo a nivel informático se podrá llegar a escalas más finas tanto espacial como temporal. En cuanto a los tres dominios generados, el de resolución de 1 km resulta más cercano a lo observado por el ceilómetro, la cámara y el pirheliómetro.

Del análisis de rampas podemos decir que el modelo meteorológico WRF, aunque genera menos nubes de las observadas, representa bastante bien la nubosidad, siendo capaz en algunos casos de estimar rampas, pero todavía es insuficiente para utilizarlo como predicción operacional de DNI en escalas temporales de 5 minutos. Nótese que esta es la resolución temporal necesaria para la gestión de plantas solares y para la integración de su energía en la red eléctrica. No se observan diferencias significativas en los valores del error cuadrático medio (RMSE) en función de la resolución espacial del modelo, si bien los valores son elevados. Este resultado es relevante, pues indica que al aumentar la resolución no se obtienen valores crecientes del RMSE.

## REFERENCES

1. Laka-Iñurrategui, M., 2013. Evaluación de la influencia de las nubes en la Irradiancia Directa Normal (DNI) en el contexto de la energía solar termoelectrica. Trabajo de fin de Máster en Geofísica y Meteorología, Sep. 2013.
2. Hong, S.-Y., and J.-O. J. Lim, 2006: The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *J. Korean Meteor. Soc.*, 42, 129–151
3. Thompson, Gregory, Paul R. Field, Roy M. Rasmussen, William D. Hall, 2008. Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part II: Implementation of a New Snow Parameterization. *Mon. Wea. Rev.*, 136, 5095–5115.
4. Milbrandt, J. A., and M. K. Yau, 2005: A multimoment bulk microphysics parameterization. Part I: Analysis of the role of the spectral shape parameter. Part II: A proposed three-moment closure and scheme description. *J. Atmos. Sci.*, 62, 3051–3081.
5. Morrison, H., G. Thompson, V. Tatarskii, 2009: Impact of Cloud Microphysics on the Development of Trailing Stratiform Precipitation in a Simulated Squall Line: Comparison of One- and Two-Moment Schemes. *Mon. Wea. Rev.*, 137, 991–1007.
6. Lin, Yanluan, and Brian A. Colle, 2011: A new bulk microphysical scheme that includes riming intensity and temperature-dependent ice characteristics. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 1013–1035.
7. Mansell, E. R., C. L. Ziegler, and E. C. Bruning, 2010: Simulated electrification of a small thunderstorm with two-moment bulk microphysics. *J. Atmos. Sci.*, 67, 171–194.