

# Pronóstico del viento y generación eólica

*Estudio aplicado a Sotavento Galicia*



meteoexploration.com

Marzo, 2019

# Pronóstico del viento y generación eólica

*Estudio aplicado al parque eólico experimental de Sotavento Galicia*

La variabilidad de la generación eólica debido a la fluctuación en la velocidad del viento complica su integración a la red eléctrica. Esta variabilidad puede incrementar su coste, al requerir generación de apoyo de otro tipo (Hirth 2013). Un pronóstico impreciso de esta variabilidad puede ocasionar costes elevados al generador, al tener que compensar los desvíos entre la energía prevista y la realmente producida. Por lo tanto, un aumento en la precisión de los pronósticos de viento supone un ahorro económico considerable tanto para el productor como para el consumidor.



Para estudiar la posibilidad de mejorar los pronósticos de viento existente hemos aplicado el modelo atmosférico WRF a alta resolución a la estación experimental de Sotavento, en Galicia, de esa forma se pueden comparar los valores simulados por el modelo y los valores medidos hechos públicos por la estación experimental. A continuación, se explica brevemente el uso y aplicación de este modelo, su adaptación al parque de interés y el método para la estimación de energía producida, además de indicar como mejorar sustancialmente esta previsión con los datos disponibles.

## Simulación atmosférica

Todos los modelos climáticos y meteorológicos son representaciones incompletas de la realidad que no pueden incorporar toda la complejidad del comportamiento

de la atmósfera. Estos modelos tienen una resolución limitada y restricciones inherentes a la hora de simular el comportamiento caótico del tiempo. Sin embargo, en los últimos años se ha conseguido un avance formidable en la predicción a corto plazo. El desarrollo de la potencia de computación y la implementación de modelos numéricos de la atmósfera está consiguiendo resultados cada vez más fiables. El mejor resultado se obtiene con el modelo WRF, que es el que aplicamos a este caso

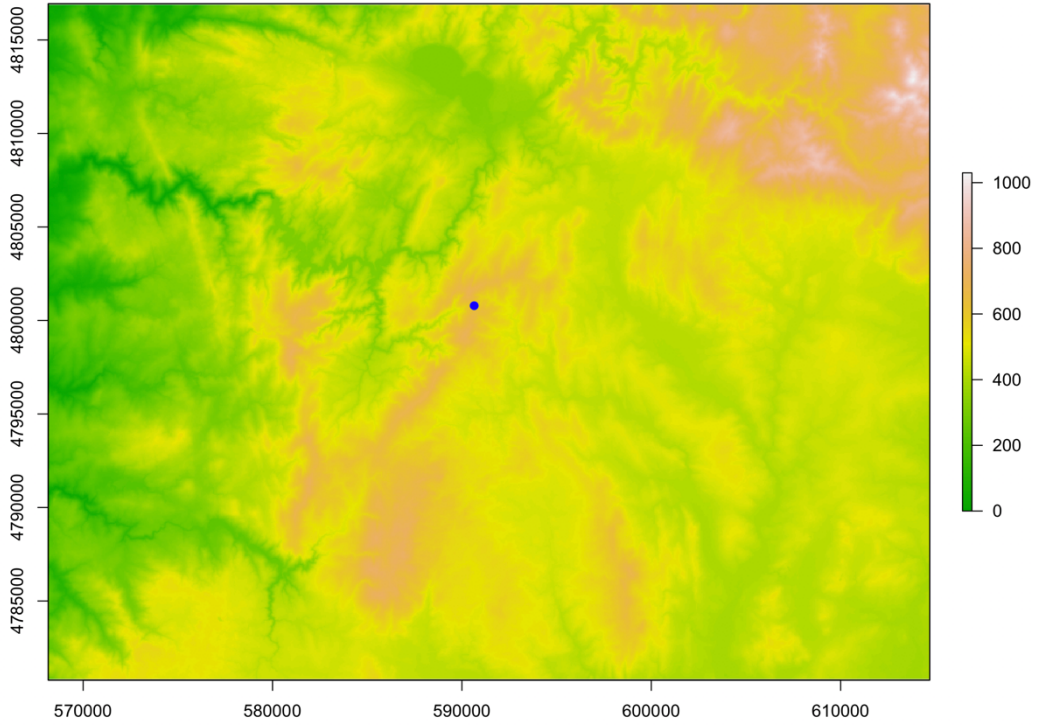
## Modelo WRF

El WRF (Weather Research and Forecasting) es un modelo numérico de mesoscala ampliamente usado en la investigación meteorológica y para pronósticos operacionales (Skamarock et al. 2008). Está especialmente diseñado con una arquitectura de software que aprovecha la computación en paralelo, por lo que hace uso óptimo de la capacidad de computación. Es un modelo que se mejora continuamente por el aporte de numerosos investigadores en la materia, y permite su implementación a muy alta resolución. Para este estudio se han probado múltiples parametrizaciones de la capa límite atmosférica y esquemas físicos, hasta obtener los que mejor se adaptan a la región de interés. Hemos elegido una resolución de 3km de tamaño de celda, que es un buen compromiso entre la precisión y el coste de computación.

### La importancia de la resolución espacial

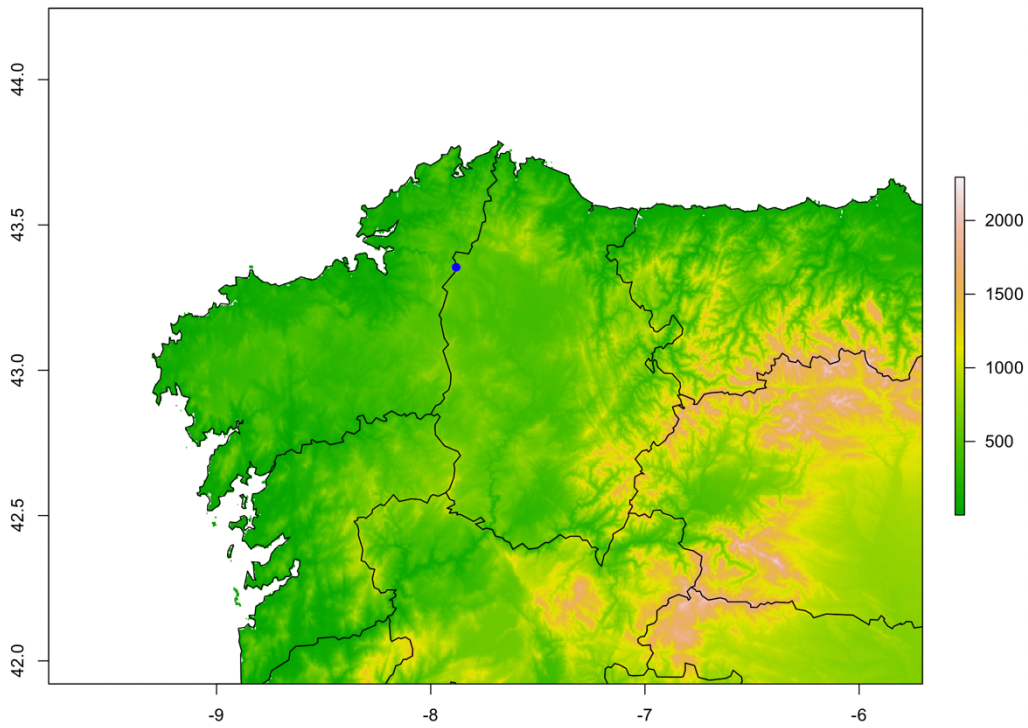
Los modelos globales como el GFS operan a resoluciones de hasta 0.25°. Esta resolución es adecuada para identificar los sistemas atmosféricos a gran escala, pero insuficiente para simular la interacción del viento con la topografía. Una celda de 0.25° corresponde a 27.8 x 20.3 km a la latitud de Galicia, con lo cual los sistemas montañosos quedan muy difuminados, como se aprecia en la Figura 1. A 5 m de resolución se aprecia correctamente el relieve, incluso ríos y arroyos pequeños, a 0.5 km de resolución se conservan los elementos más importantes y la altitud se aproxima correctamente, a 3 km de resolución las cumbres se difuminan, pero se conserva las estructuras principales de relieve. A 0.25° de resolución el detalle de la topografía se ha perdido casi por completo.

Resolución 5 m



a)

Resolución 0.5 km



b)

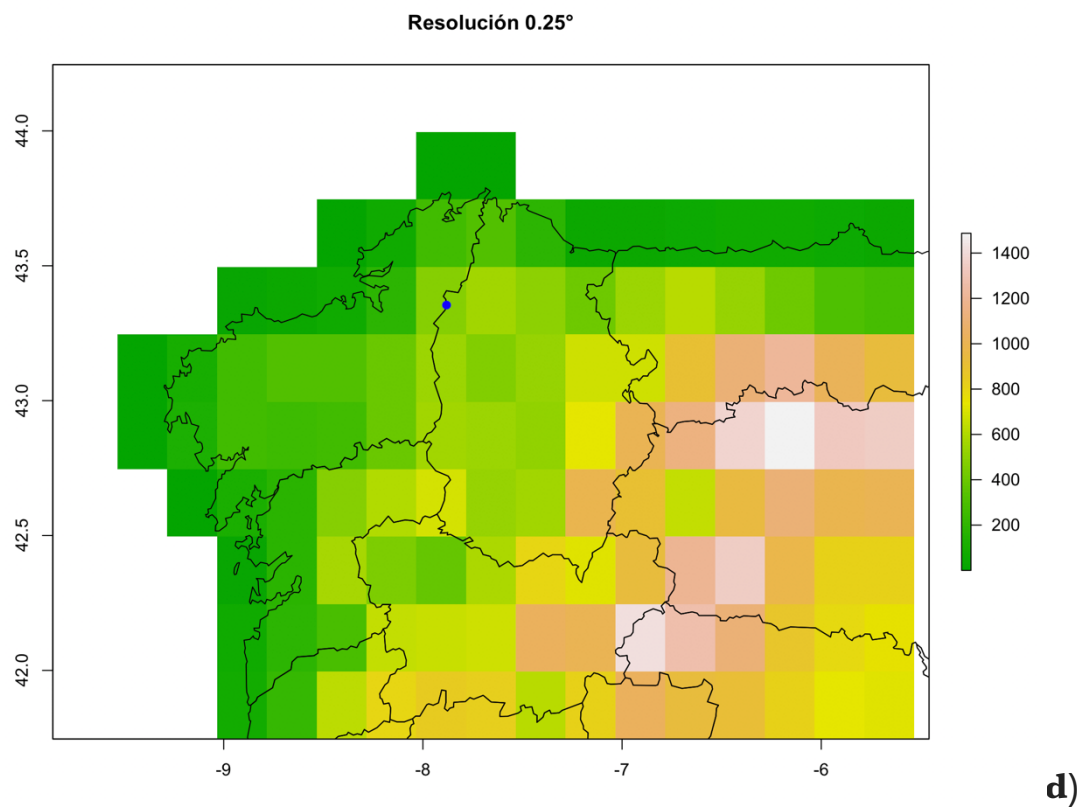
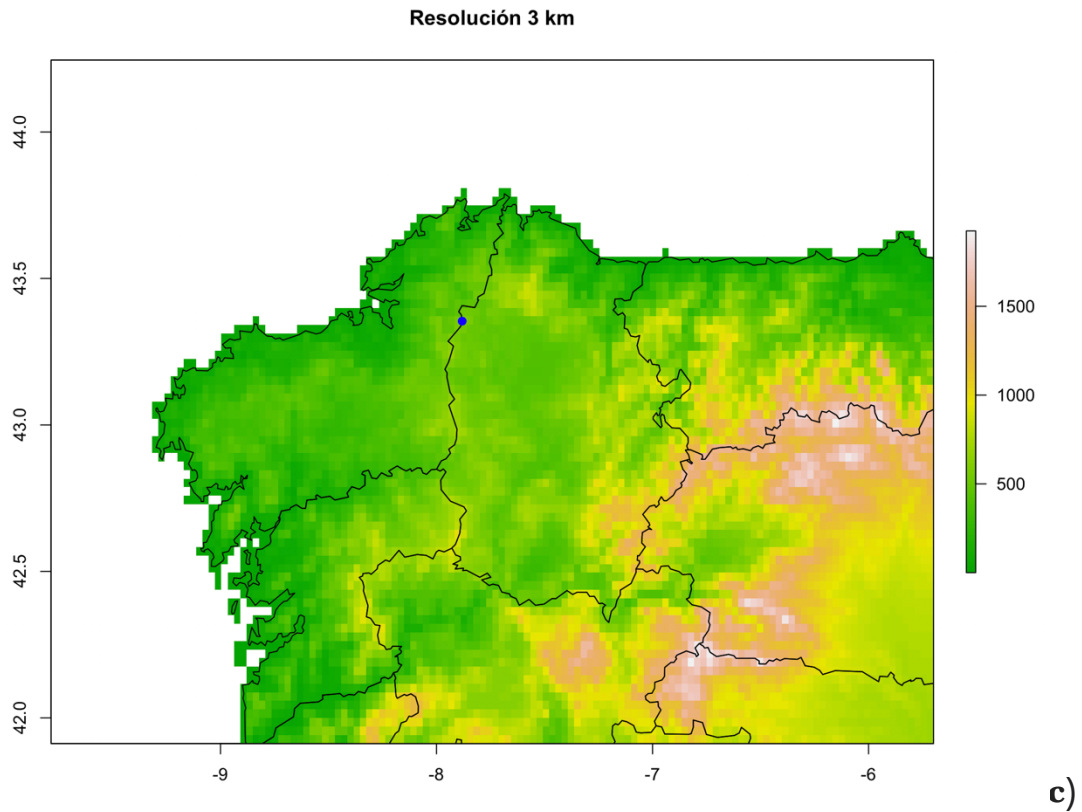


Figura 1.- Efecto de la resolución espacial en el relieve topográfico. La gráfica **a** es a 5 m de resolución para el entorno del parque de Sotavento. Nótese como la elevación máxima decrece desde 2294m en **b**, a 1924m en **c**, y tan solo a 1487m en **d** a 0.25° o 25 km de resolución.

Este efecto de la resolución se nota en la simulación del viento, como se ve en la Figura 2, que muestra el flujo de viento simulado sobre la Cordillera de los Andes a 0.25° y 4 km de resolución, en el segundo caso se aprecia el efecto de los valles y de la topografía en general.

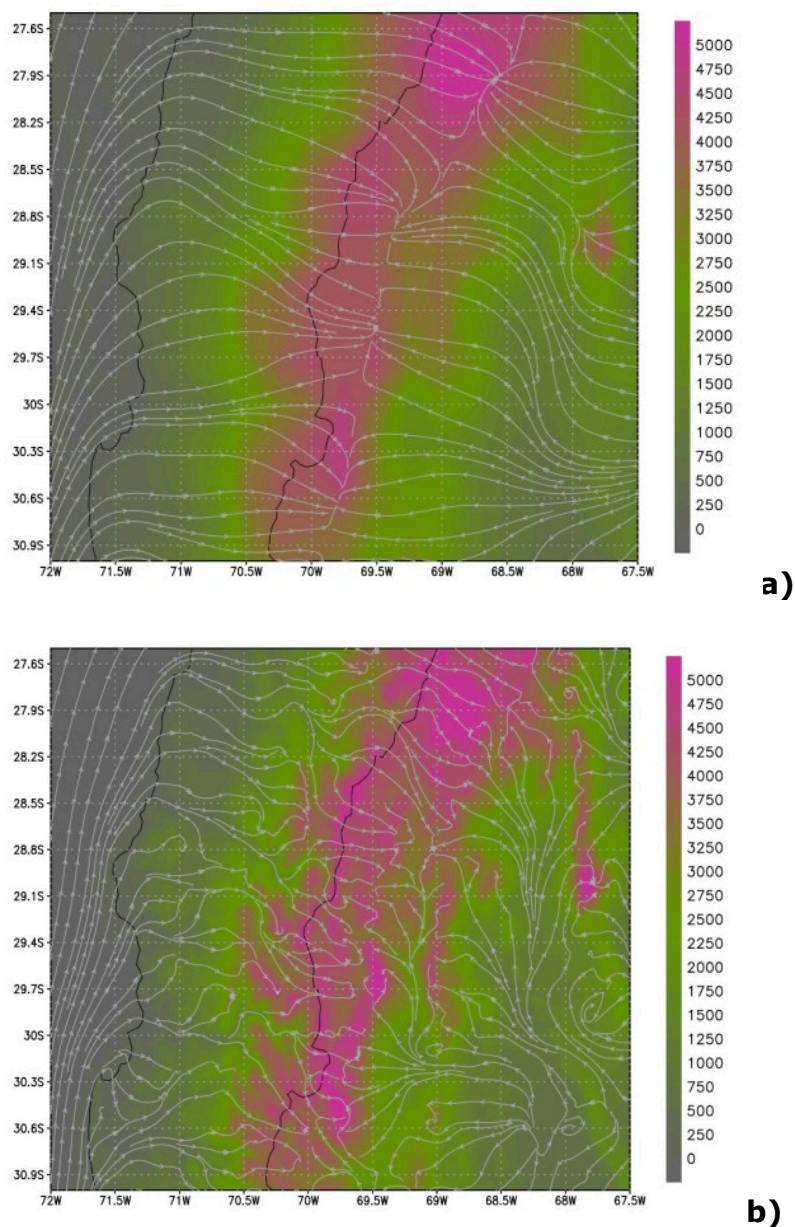


Figura 2.- Simulación del viento en superficie sobre la Cordillera de los Andes a 0.25° (a) y a 4 km (b) de resolución.

Si se quiere simular la velocidad del viento de forma realista es necesario incorporar el efecto de la topografía, y para ello es necesario utilizar la resolución adecuada. En el presente trabajo hemos utilizado el modelo WRF en dos anidamientos sucesivos a 9 km y 3 km de resolución (Figura 3), que es un compromiso aceptable entre la precisión de la topografía y el coste de

computación. Los resultados del WRF son muy satisfactorios, pero pueden mejorarse aplicando métodos estadísticos simples, como MOS (Model Output Statistics) a medida que se vayan recogiendo datos de la discrepancia entre valores medidos y simulados. La Figura 4 muestra un ejemplo de la salida del modelo, la simulación del viento a 100m sobre el suelo.

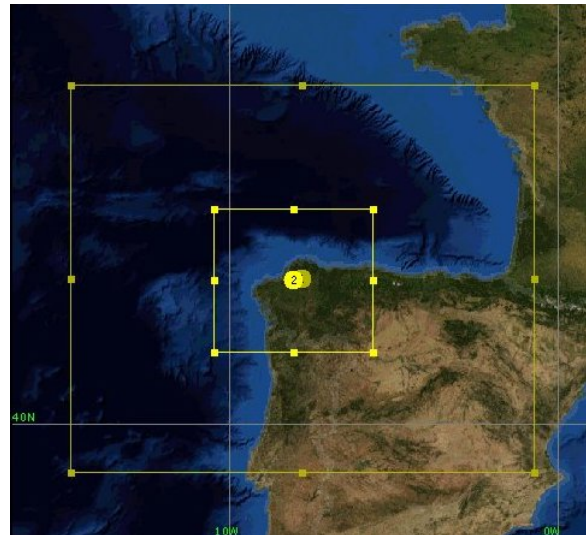


Figura 3.- Dominio anidado del modelo WRF utilizado en este trabajo.

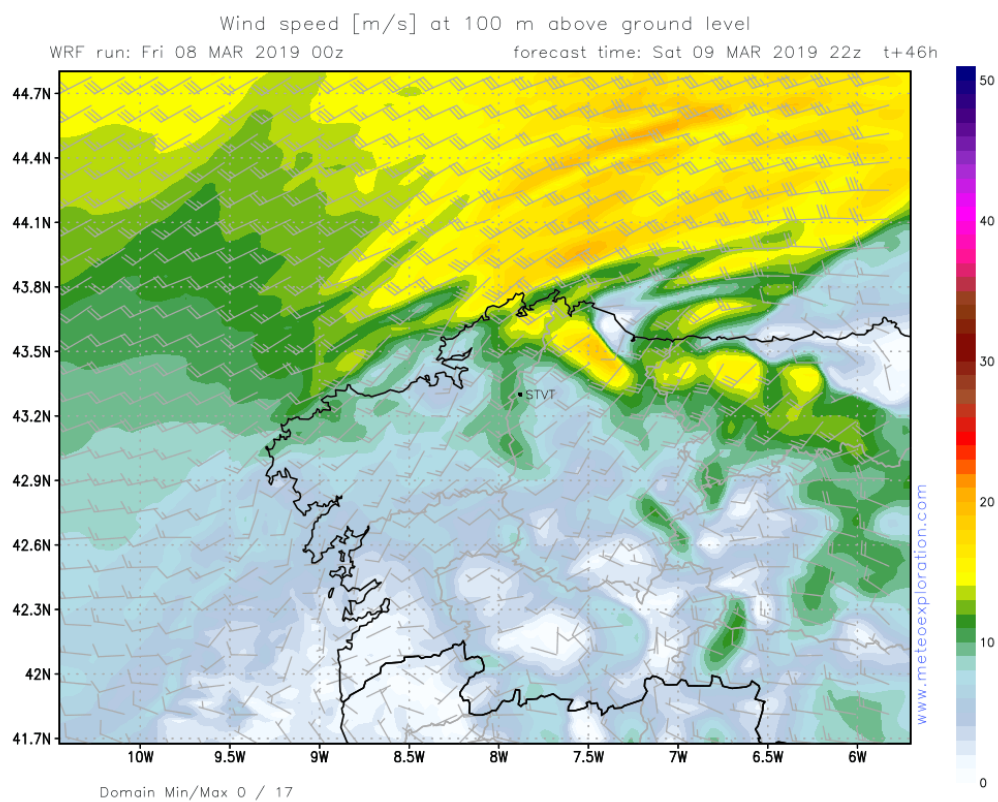


Figura 4.- Simulación del viento a 100m sobre el suelo por el modelo WRF a 3 km de resolución

## Curva de Potencia

Los valores estimados de energía producida en el parque eólico Sotavento Galicia se calcularon a partir de las curvas de potencia, velocidad y dirección del viento y energía generada, estos datos son facilitados por el parque en su web. La curva de potencia teórica es un indicativo útil, pero se refiere a condiciones ideales, densidad del aire estándar, viento sin turbulencia ni cizalladura y ausencia de estelas de otros aerogeneradores. Es un valor de referencia, pero necesita ajustarse a las condiciones locales. Idealmente debería hacerse para cada aerogenerador, pero a falta de datos, una curva para el parque es siempre un valor útil que sirve para ajustar el rendimiento teórico.

Esta curva se derivó a partir de los datos de dirección y velocidad de viento y energía generada en los últimos cinco años. La Figura 5 muestra un diagrama de dispersión de la energía generada con respecto a la velocidad del viento. Los puntos rojos se consideran demasiado bajos, pueden ser debido a periodos de mantenimiento o con pocos generadores funcionando. Los puntos verdes, por encima de la curva teórica del parque, se deben a que hay una sola velocidad de referencia, en una torre anemométrica a distinta altura y localización que cada uno de los generadores. En la Figura 6 se muestra el diagrama de dispersión en tres dimensiones con respecto a la velocidad y dirección del viento.

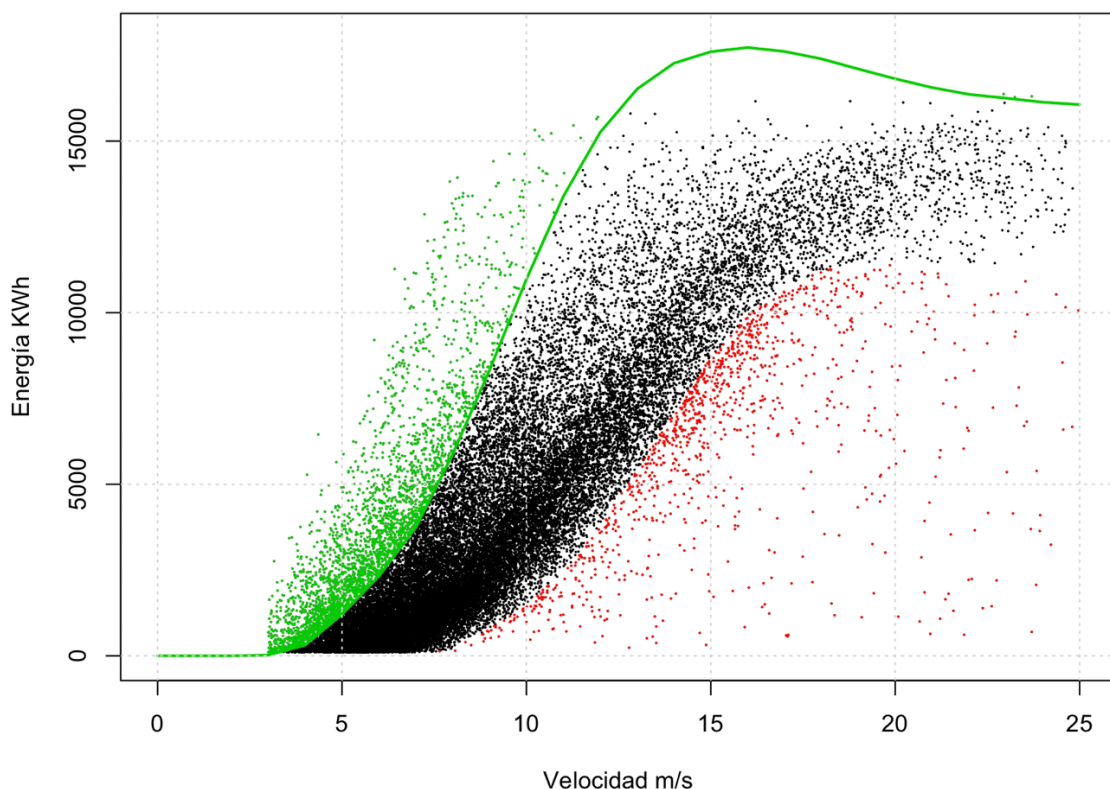


Figura 5.- Diagrama de dispersión de Energía generada con respecto a la velocidad del viento. La línea verde es la curva de potencia teórica total del parque. Los puntos rojos se consideran demasiado bajos, pueden ser debido a periodos de mantenimiento o con pocos generadores funcionando. Los puntos verdes, por encima de la curva teórica del



parque, se deben a que hay una sola velocidad de referencia, en una torre anemométrica a distinta altura y localización que cada uno de los generadores.

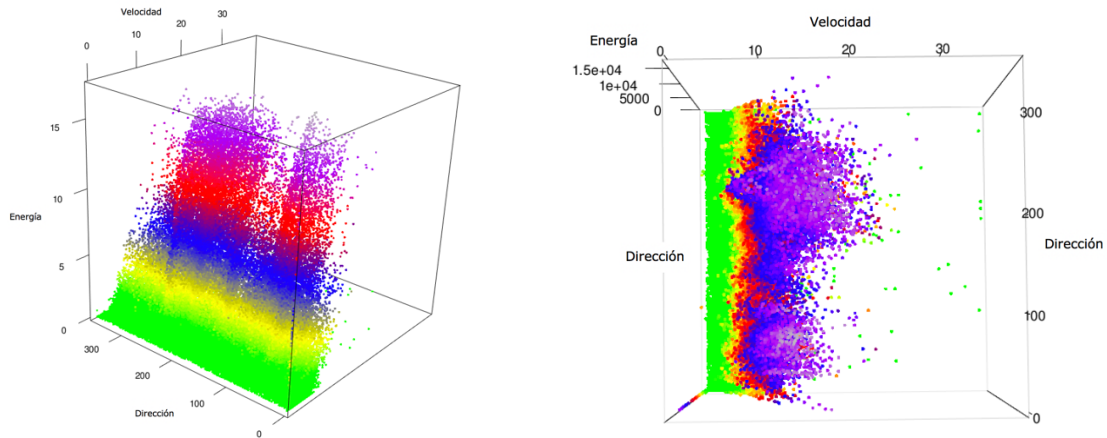


Figura 6.- Diagrama de dispersión en 3D de la Energía generada con respecto a la velocidad y dirección del viento. La vista superior, a la derecha, muestra que la velocidad máxima se da con más frecuencia con una dirección preferencial

La Figura 7 muestra el histograma de frecuencia de velocidades en el parque en los últimos cinco años y en la Figura 8 se puede ver la rosa de los vientos correspondiente.

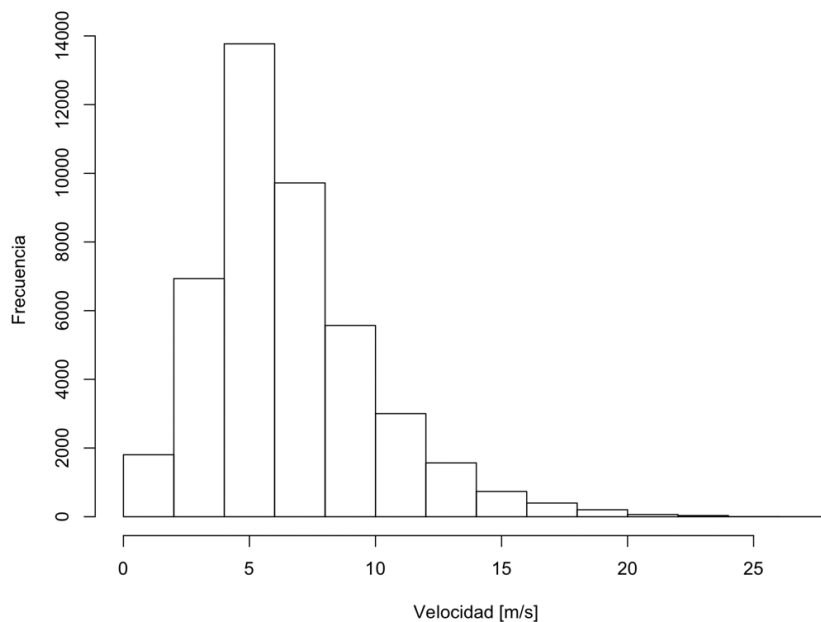


Figura 7.- Histograma de frecuencia de velocidad del viento en el parque Sotavento Galicia.

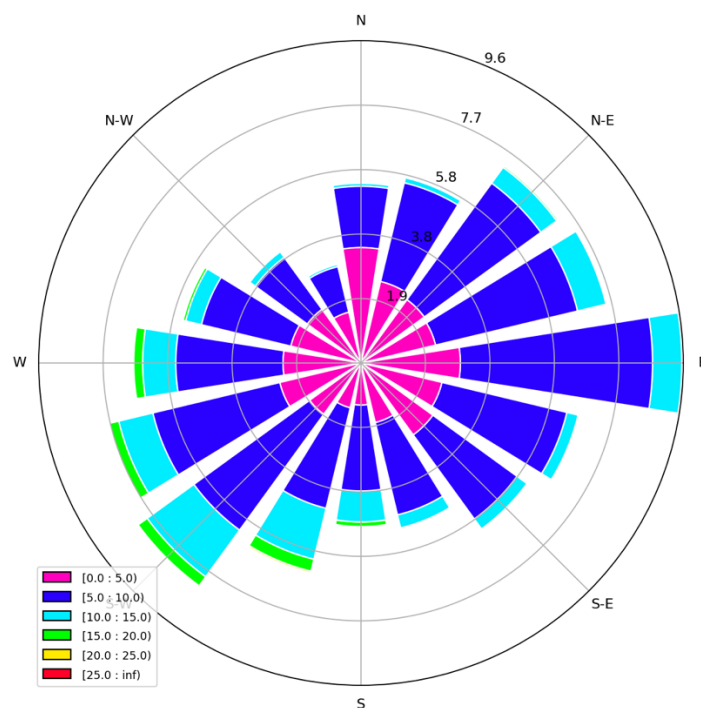


Figura 8.- Rosa de los vientos para los datos de velocidad y dirección del viento durante los últimos cinco años en el parque Sotavento Galicia.

Para la estimación de la curva de potencia del parque se ignoraron los puntos rojos de la Figura 5, considerados como "outliers", probablemente por generadores fuera e servicio, y se siguió la recomendación del International Electrotechnical Commission (IEC 61400-12-1:2017 2017), de forma similar a como lo recomienda el National Renewable Energy Laboratory (Wan, Ela, and Orwig 2010). Para otras técnicas de modelado de curvas de potencia de generadores eólicos, véase por ejemplo Lydia et al. (2014). La curva obtenida se modificó ligeramente para minimizar la discrepancia con los valores publicados recientemente por el parque.

Los resultados de la implementación de esta curva son satisfactorios, con un coeficiente de correlación  $R^2 > 0.8$  (Figura 9) desde que se empezó a simular el viento el 25 de febrero de 2019. Sin embargo, se podrían mejorar considerablemente si la curva se estima para cada generador individual, algo para lo que de momento no tenemos los datos necesarios.

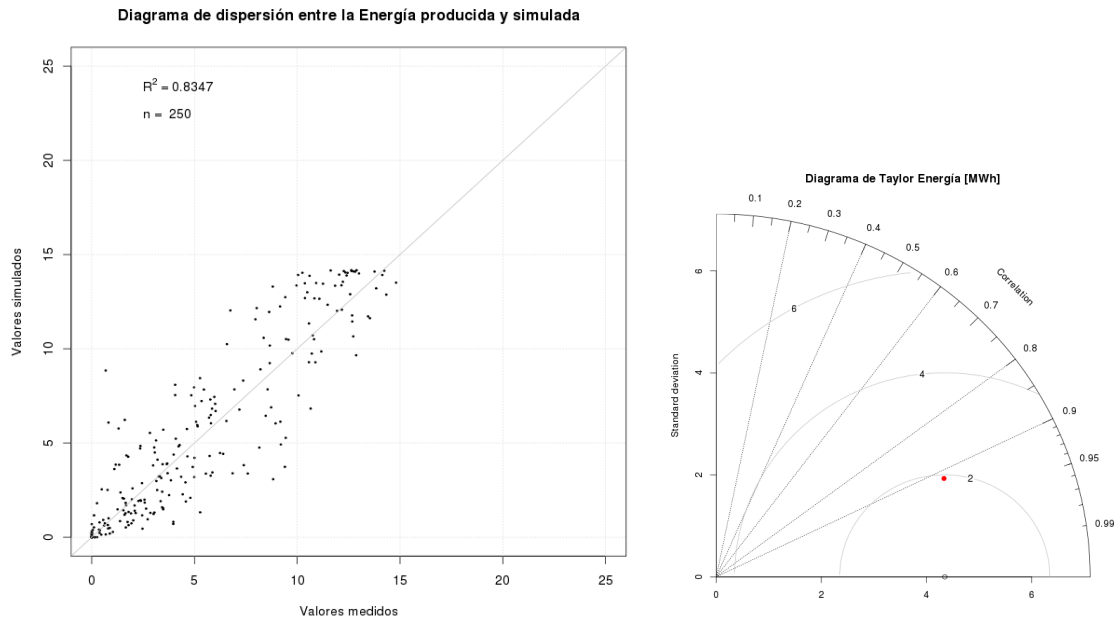


Figura 9.- Diagrama de dispersión y diagramas de Taylor entre la energía generada simulada y medida en el parque de Sotavento desde el 25 de febrero de 2019.

La Figura 10 muestra la gráfica horaria de valores medidos y modelados de producción de energía desde el 25 de febrero, utilizando la primera aproximación de curva de potencia total, y no cada aerogenerador individual.

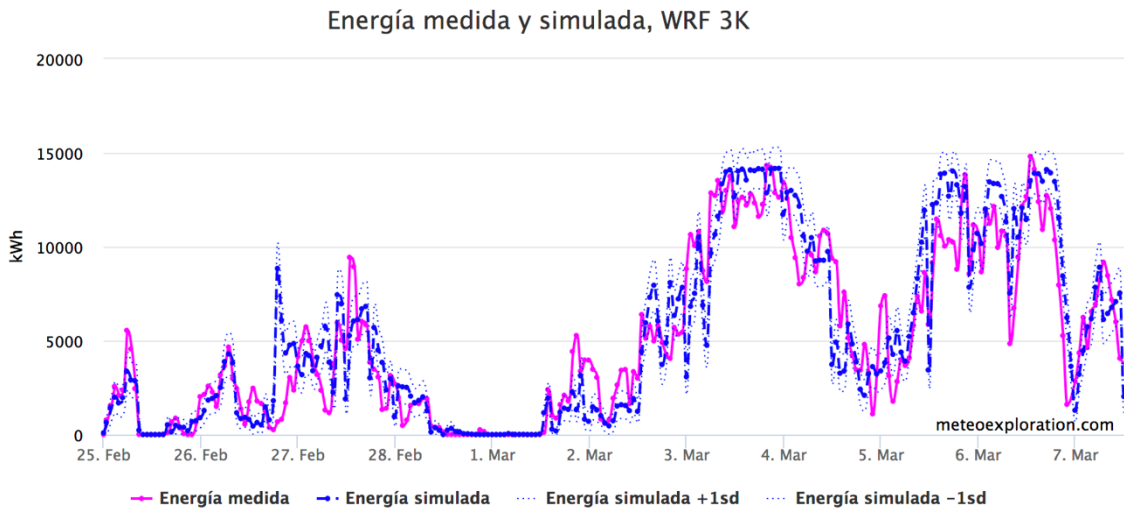


Figura 10.- Gráficas de valores horarios de energía generada, valores simulados en azul con  $\pm 1$  desviación estándar y valores medidos según publica el parque. No se han considerado los posibles aerogeneradores fuera de servicio

Estos resultados suponen una mejoría considerable respecto a otros ejercicios de simulación publicados por el parque y creemos que pueden ayudar a una gestión más eficiente y rentable del mismo. El resultado de la simulación puede seguirse en la página web de [meteoexploration.com](http://meteoexploration.com), con dos actualizaciones diarias del modelo WRF y actualizaciones periódicas de los datos medidos cuando estos están disponibles en la web del parque. El enlace de acceso es:

<https://www.meteoexploration.net/pro/wind/sotavento/charts.php>

Es recomendable visualizarlo en un monitor con una resolución mínima de 1280 x 800 píxeles.

## Conclusiones

En este trabajo se presenta la aplicación del modelo atmosférico WRF de forma anidada hasta 3 km de resolución al noroeste de la Península Ibérica, para simular el viento incidente sobre el parque eólico experimental de Sotavento Galicia. A partir del viento simulado y una curva de potencia aproximada, derivada de datos publicados, se ha ajustado la curva de potencia de cada generador y se ha estimado la energía producida. El resultado es muy satisfactorio, con un coeficiente de correlación superior al 0.8. Este resultado sería fácilmente mejorable si se dispusiera de datos de viento y generación de cada aerogenerador individual.

## Referencias

- Hirth, Lion. 2013. "The Market Value of Variable Renewables. The Effect of Solar Wind Power Variability on Their Relative Price." *Energy Economics* 38: 218–36. doi:10.1016/j.eneco.2013.02.004.
- IEC 61400-12-1:2017. 2017. "IEC 61400-12-1:2017 Wind Energy Generation Systems – Power Performance Measurements of Electricity Producing Wind Turbines." *International Standard*. Geneva.
- Lydia, M., S. Suresh Kumar, A. Immanuel Selvakumar, and G. Edwin Prem Kumar. 2014. "A Comprehensive Review on Wind Turbine Power Curve Modeling Techniques." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30. Elsevier: 452–60. doi:10.1016/j.rser.2013.10.030.
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. G Duda, X.-Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers. 2008. "A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR/TN-475+STR." Boulder, Colorado. doi:10.5065/D68S4MVH.
- Wan, Yih-huei, Erik Ela, and Kirsten Orwig. 2010. "Development of an Equivalent Wind Plant Power-Curve NREL/CP-550-48146." In *WindPower 2010*. Dallas. <https://www.nrel.gov/docs/fy10osti/48146.pdf>.