

Energía Eólica y Predicción del Viento

Wind Energy and Wind Prediction

**Marisol López Fuentes¹
y Damián Campuzano Milian^{1,2}**

¹ Escuela Preparatoria Melchor Ocampo,
Universidad Michoacana de San Nicolás de
Hidalgo (UMSNH). ² Facultad de Ingeniería
Mecánica, UMSNH. Morelia, Mich., México.
Contacto: damian.campuzano@umich.mx



Figura 1. **Energías Renovables** (EcuRed, S.F.).



Figura 2. Turbina eólica (AESVAL,2022).

Resumen. En medio de la crisis sanitaria global desatada por el virus SARS-CoV-2 en 2019, la reducción drástica de las emisiones de dióxido de carbono brindó una visión fugaz de un mundo con cielos despejados y una naturaleza revitalizada. Este fenómeno efímero subrayó la urgencia de adoptar medidas para abordar el cambio climático y fomentar un futuro más sostenible. En este contexto, el artículo explora el papel crucial de las energías renovables, particularmente la energía eólica, en la transformación hacia un modelo energético más limpio y eficiente. Se examina la importancia de la predicción del viento en la integración exitosa de la energía eólica en la red eléctrica, destacando el papel clave de modelos avanzados como el Weather Research and Forecasting (WRF). A través de una exploración detallada de la ciencia detrás de la predicción del viento y los desafíos asociados con la implementación de modelos matemáticos atmosféricos, el artículo ofrece una visión integral de cómo la innovación tecnológica y la conciencia ambiental se entrelazan para forjar un futuro energético más sostenible. Concluye con una reflexión sobre la importancia de continuar avanzando en la investigación y el desarrollo de modelos de predicción del viento para mitigar el cambio climático y promover un entorno más saludable y equitativo para las generaciones futuras.

Palabras clave: Predicción del Viento, Investigación climática, Energía Eólica.

Abstract. Amidst the global health crisis unleashed by the SARS-CoV-2 virus in 2019, the drastic reduction in carbon dioxide emissions offered a fleeting glimpse of a world with clear skies and revitalized nature. This ephemeral phenomenon underscored the urgency of adopting measures to address climate change and foster a more sustainable future. In this context, the article explores the crucial role of renewable energies, particularly wind energy, in the transition towards a cleaner and more efficient energy model. It examines the importance of wind prediction in the successful integration of wind energy into the electrical grid, highlighting the key role of advanced models such as the Weather Research and Forecasting (WRF). Through a detailed exploration of the science behind wind prediction and the challenges associated with the implementation of atmospheric numerical models, the article offers a comprehensive insight into how technological innovation and environmental awareness intertwine to forge a more sustainable energy future. It concludes with a reflection on the importance of continuing to advance research and development in wind prediction models to mitigate climate change and promote a healthier and more equitable environment for future generations.

Keywords: Wind Prediction, Weather Research and Forecasting (WRF), Wind Energy.

Introducción

Durante la crisis sanitaria mundial de 2019, causada por el virus SARS-CoV-2, las emisiones de dióxido de carbono sufrieron una marcada reducción,

propiciando la aparición de especies animales y la visión de cielos despejados, libres de contaminación. Este fenómeno a escala global nos brindó una valiosa lección, instándonos a reflexionar sobre la imperiosa necesidad de adoptar medidas efectivas

para contrarrestar el calentamiento global. Actualmente, aproximadamente el 85.4% de nuestra energía proviene de combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón, los cuales son responsables de gran parte de la contaminación en la producción de energía eléctrica (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, 2024). La devastación ambiental ocasionada por esta contaminación a gran escala ha impulsado la búsqueda y el desarrollo de fuentes de energía más limpias, que puedan asegurar una huella de carbono neutral y promover el desarrollo sostenible, guiado por los principios de reducir, reutilizar, reciclar y reeducar.

En la sociedad actual, la dependencia de la tecnología y la energía es innegable, resultando difícil concebir un mundo en el que estas no estén presentes. Sin embargo, para provocar un cambio significativo en beneficio de nuestro entorno, es fundamental reconsiderar tanto nuestro modelo de consumo energético como el de producción. En este contexto, han surgido diversas estrategias encaminadas a establecer un sistema energético con un enfoque ecológico, diseñado para hacer frente a los desafíos ambientales que se avecinan.

Este enfoque se basa en la idea de aprovechar los recursos naturales para generar energía limpia y renovable; implica la utilización de fuentes como la radiación solar, el viento, la biomasa o las corrientes de agua para la producción de electricidad. La integración de estas fuentes constituye un modelo completo de energías renovables, que abarca desde la energía solar y eólica hasta la bioenergía, geotérmica, hidroeléctrica y marina. Una de las principales ventajas de estas fuentes (Figura 1) es su potencial prácticamente ilimitado. Por ejemplo, la energía solar se basa en la radiación solar, un recurso que se prevé estará disponible durante al menos otros cinco mil millones de años, convirtiéndola en una fuente de energía prácticamente inagotable.

En el amanecer del siglo XXI, el paradigma energético mundial está experimentando una transformación sin precedentes, lo que nos genera cuestionamientos como si es viable realmente utilizar energías renovables

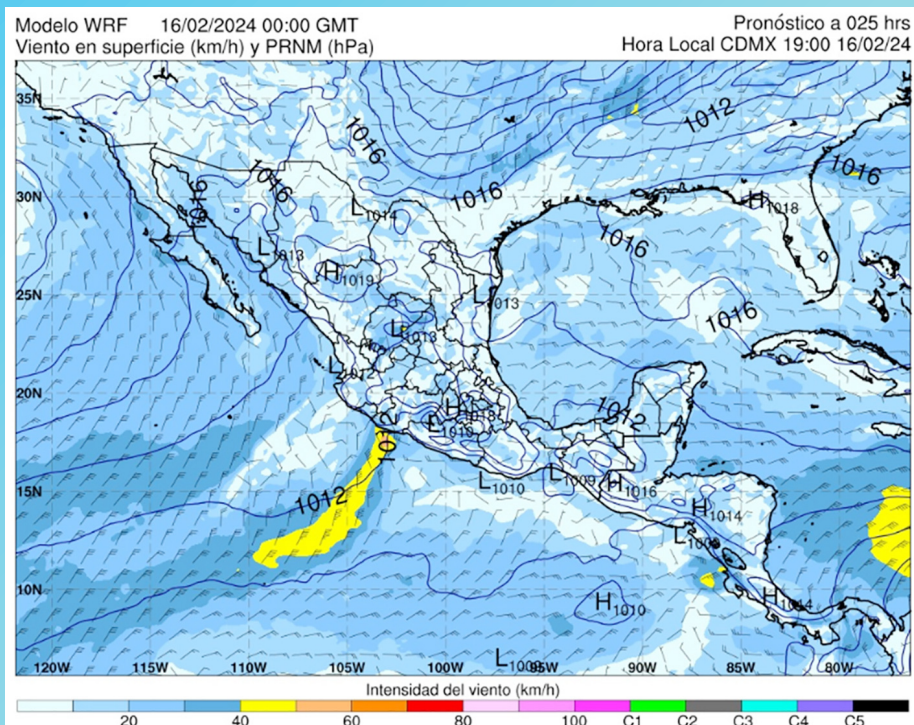


Figura 3. Gráfico de la intensidad del viento en México (Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM, 2024).

para transformar nuestro planeta, sin embargo la conciencia ambiental y la imperativa necesidad de mitigar el cambio climático han impulsado a gobiernos y corporaciones a repensar radicalmente la forma en que generamos y consumimos energía. Esta revolución energética no solo se traduce en la migración de los combustibles fósiles hacia fuentes más sostenibles, sino que también se sustenta en acuerdos internacionales, reformas energéticas y un compromiso global por modelar un futuro más verde.

Durante décadas, el mundo ha dependido en gran medida de los combustibles fósiles para satisfacer sus demandas energéticas. Sin embargo, la conciencia creciente de las consecuencias ambientales y la finitud de estos recursos ha propiciado una transición hacia fuentes renovables. La energía eólica, en particular, ha emergido como un pilar fundamental en esta metamorfosis, destacando su potencial para generar electricidad de manera sostenible y abundante.

El Acuerdo de París, un hito en la lucha contra el cambio climático, ha catalizado un compromiso global para limitar el calentamiento global a niveles manejables. Este pacto histórico ha desencadenado acciones concretas en la

transición a energías limpias, comprometiendo a naciones de todo el mundo a reducir sus emisiones y abrazar fuentes renovables (Naciones Unidas, 2024).

Las reformas energéticas han delineado nuevas rutas hacia un futuro energético sostenible y desde su implementación en México se han emprendido cambios significativos en sus estructuras eléctricas, priorizando la integración de tecnologías renovables y fomentando la inversión en proyectos eólicos. Estos esfuerzos no solo buscan diversificar la matriz energética, sino también fortalecer la resiliencia ante los desafíos ambientales y económicos.

Desde la aprobación de leyes que incentivan la generación de energía limpia hasta inversiones estratégicas en investigación y desarrollo, el mundo se encuentra en una encrucijada definitiva. La transición hacia la energía renovable, con la energía eólica como vanguardia, no solo es una respuesta a la emergencia climática, sino también una oportunidad para forjar un futuro energético más sostenible y equitativo.

Sin embargo, estas leyes exigen a los concesionarios cumplir con requisitos rigurosos, exigiéndoles la presentación

de pronósticos de la potencia generada por cada unidad de Energía Renovable Variable. Esta exigencia ha impulsado a los concesionarios a desarrollar estrategias y modelos de pronóstico.

Energía Eólica: Más Allá de las Aspas

La captura de la energía cinética del viento mediante aerogeneradores (Figura 2) ha evolucionado de manera significativa, convirtiéndose en una de las fuentes más prometedoras y sostenibles; no obstante, la energía eólica se enfrenta a desafíos significativos en comparación con las fuentes de energía tradicionales. La producción de energía a partir del viento está estrechamente relacionada a la velocidad variable y cambiante del viento, lo que complica su regulación en tiempo y espacio. Sumando también, que no se cuenta con un método eficaz para almacenar la energía eólica, lo que conlleva a entregar inmediatamente su producción a la red eléctrica, forzando a las compañías de energía eólica a reportar su producción para contribuir a la planificación eléctrica del Sistema Nacional. Una interrogante muy fuerte es ¿cómo saber la velocidad del viento en las próximas horas, días o meses?, un dato necesario para poder hacer estas planificaciones y que ha generado una importante y novedosa corriente de estudio en predicciones y comportamiento del viento.

La Ciencia Detrás de la Predicción del Viento

La predicción del viento es un campo complicado que combina la meteorología, la climatología y el modelado numérico (Figura 3). Aquí es donde entran en juego los Modelos Meteorológicos Regionales (MMR), herramientas avanzadas diseñadas para comprender los fenómenos atmosféricos a nivel regional con resoluciones espaciales finas. Estos modelos, se enfocan en prever con precisión los patrones de viento, considerando factores como la topografía local y las condiciones climáticas específicas de la región.

Estos modelos emplean una combinación de ecuaciones de la física atmosférica, teniendo en cuenta factores como la temperatura, la presión atmosférica y la humedad. La

resolución espacial fina de los MMR permite desentrañar las complejidades de la mesoescala, capturando detalles cruciales para la generación de energía eólica. Desde la predicción del viento en áreas urbanas hasta la evaluación de eventos meteorológicos extremos, los MMR desempeñan un papel vital.

Planificar la generación de energía según las predicciones meteorológicas permite una integración más eficaz de la energía eólica en la red, optimizando su contribución al suministro energético global. En este contexto, los modelos numéricos atmosféricos desempeñan un papel crucial al proporcionar predicciones a diferentes escalas temporales y espaciales. Uno de estos modelos, el Weather Research and Forecasting (WRF), ha ganado prominencia en la comunidad científica y de ingeniería debido a su capacidad para simular fenómenos meteorológicos complejos, incluyendo la dinámica del viento.

El WRF es un modelo de predicción del tiempo desarrollado conjuntamente por varias instituciones, incluyendo el National Center for Atmospheric Research (NCAR), la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), y otras organizaciones académicas y gubernamentales. Utiliza un enfoque de ecuaciones de conservación de masa, momentum y energía para simular la dinámica atmosférica en una cuadrícula tridimensional, dividiendo la atmósfera en celdas discretas y resolviendo las interacciones entre ellas en incrementos de tiempo discretos (Grupo de Interacción Océano Atmósfera, 2022).

Uno de los aspectos clave del WRF es su capacidad para representar procesos físicos complejos a escalas espaciales y temporales finas. Esto incluye la parametrización de la turbulencia atmosférica, la radiación solar, la interacción tierra-atmósfera y otros procesos relevantes para la

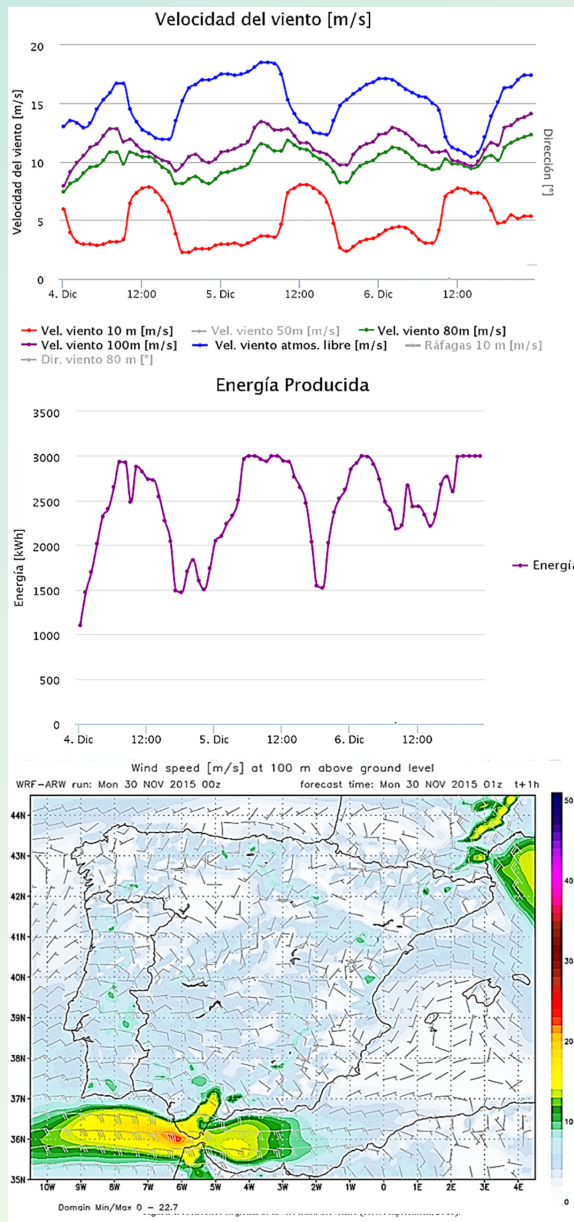


Figura 4. Pronóstico Regional de la velocidad del viento (Meteoexploration, 2015).

dinámica del viento. Además, el modelo puede asimilar datos observacionales en tiempo real para mejorar la precisión de las predicciones, utilizando técnicas de asimilación de datos que integran observaciones satelitales, estaciones meteorológicas terrestres y otros sistemas de monitoreo.

A pesar de sus capacidades avanzadas, el WRF enfrenta varios desafíos en la predicción del viento. Esto incluye la necesidad de datos de entrada precisos y detallados, la resolución adecuada de la cuadrícula para capturar fenómenos locales, y la parametrización efectiva. Además, la

incertidumbre inherente en las condiciones iniciales y los datos observacionales puede afectar la precisión de las predicciones a largo plazo.

Un ejemplo destacado de la aplicación práctica del modelo meteorológico WRF-ARW se encuentra en el estudio presentado por Meteoexploration (Figura 4) sobre la región de la Península Ibérica e Islas Canarias. En este estudio, se implementó el modelo a alta resolución, lo que permitió una mejor definición de la topografía local y su influencia en los patrones de viento. Específicamente, se utilizó una resolución fina para capturar detalles precisos en áreas con topografía compleja. Esto se logró mediante el uso de dominios anidados de menor tamaño de celda, lo que permitió una simulación aún más detallada. Además, como condiciones iniciales y de contorno, se emplearon los datos del modelo GFS 0p25 con una resolución de 0.25°. Este enfoque proporciona un ejemplo claro de cómo el modelo WRF-ARW puede adaptarse y aplicarse para estudiar fenómenos meteorológicos específicos con gran detalle y precisión.

Conclusiones

A medida que avanzamos en la investigación y desarrollo de modelos atmosféricos como el WRF, se requiere de una continua exploración de nuevas técnicas de modelado. La implementación de métodos innovadores no solo mejora la precisión de las predicciones del viento, sino que también permite una comprensión más profunda de la compleja dinámica atmosférica que impulsa la generación de energía eólica. Es fundamental seguir investigando y adaptando estos modelos para enfrentar los desafíos cambiantes del clima y la demanda en

energética. La colaboración interdisciplinaria entre científicos atmosféricos, ingenieros y profesionales de otras disciplinas relacionadas es fundamental para el desarrollo y aplicación exitosa de

modelos atmosféricos en la industria de la energía eólica. Al combinar conocimientos en meteorología, ingeniería, informática y gestión de recursos energéticos, se pueden abordar de manera integral los desafíos técnicos, económicos y ambientales asociados con la generación de energía eólica. Esta sinergia entre diversas disciplinas impulsa la innovación y la eficiencia en la producción de energía renovable.

En última instancia, el desarrollo de modelos atmosféricos precisos y confiables tiene implicaciones significativas para el futuro energético sostenible. La energía eólica y la predicción del viento son pilares fundamentales en la transición hacia un sistema energético más limpio y resiliente. Al mejorar nuestra capacidad para prever y aprovechar el recurso eólico, podemos optimizar la generación de energía renovable y reducir nuestra dependencia de los combustibles fósiles. Esto no solo contribuye a mitigar el cambio climático, sino que también promueve un desarrollo económico y social más equitativo y sostenible a nivel global.

Referencias

- AESVAL (2022). *La importancia de la energía eólica*. Consultado en: <https://aesval.es/la-importancia-de-la-energia-eolica/>
- EcuRed (S.F). *Energía Renovable*. Consultado en: https://www.ecured.cu/Energia_renovable
- Grupo de Interacción Océano Atmósfera (2022). *Pronóstico Meteorológico*. <http://grupo-ioa.atmosfera.unam.mx/pronosticos/index.php/meteorologia/inf-wrf#:~:text=El pronóstico meteorologico se realiza utilizando el modelo diseñado para la investigación y para aplicaciones operativas>
- Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM (2024). *Meteorología*. Consultado en: http://grupo_ioa.atmosfera.unam.mx/pronosticos/index.php/meteorologia/viento/dominio-1/en-superficie
- Meteoexploration (2015). *Previsión de viento*. Consultado en: https://meteoexploration.com/wind/wind_es.html
- Naciones Unidas (2024). *El Acuerdo de París*. Consultado en: <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- Xosocotla Espejel Oscar Eduardo et al. (2023). *Crecimiento de las energías renovables pospandemia*. Consultado en: <https://acmor.org/publicaciones/crecimiento-de-las-energ-as-renovables-pospandemia>