



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

# **Tendencias recientes en el pronóstico de velocidad de viento para generación eólica**

**Fabio Andrés Avella Rodríguez**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Área Curricular de Ingeniería de Sistemas e Informática  
Medellín, Colombia  
2017



# **Tendencias recientes en el pronóstico de velocidad de viento para generación eólica**

**Fabio Andrés Avella Rodríguez**

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Magíster en Ingeniería - Sistemas Energéticos**

Director (a):  
Ph.D., MSc. Juan David Velásquez Henao

Línea de Investigación:  
Eficiencia, Sostenibilidad Energética y Fuentes no Convencionales de Energía

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Área Curricular de Ingeniería de Sistemas e Informática  
Medellín, Colombia  
2017



## **Agradecimientos**

Al profesor Juan David Velásquez por guiarme y apoyarme en este proceso de investigación, a Pablo Corredor, Hernán Corredor y la empresa PHC S.A.S por el apoyo y conocimiento adquirido, a Stefanny por la paciencia y ayuda durante la Maestría y a toda mi familia.



## Resumen

Este documento tiene como objetivo presentar un marco unificado para discutir, resumir y organizar los principales avances en pronóstico de velocidad de viento para generación eólica utilizando un método auditable, ordenado y reproducible. Los principales hallazgos fueron: La mayor parte de los trabajos provienen de China y Estados Unidos, las series de tiempo usadas poseen una longitud de menos de un año, comúnmente el pronóstico es realizado en un rango de 1 hora a 48 horas hacia adelante. Muchos estudios usan solamente modelos autoregresivos (Lineales y no lineales) o en muchos casos una sola variable explicatoria. Usualmente la variable pronosticada es la velocidad de viento u la potencia generada. La revisión muestra una tendencia en la que los autores están experimentando con modelos híbridos para obtener las ventajas de cada método utilizado, también, una tendencia a utilizar métodos clásicos como redes neuronales, máquinas de vectores de soporte y modelos autorregresivos.

**Palabras clave:** Pronóstico, modelo híbrido, energía renovable, energía eólica, potencia eólica

## **Abstract**

This document aims to provide a unified frame for discussing, summarizing and organizing the main advances in wind power forecasting using an auditable, orderly and reproducible method. Our main findings are the following: most of works forecasting time series from China and United States; time series data usually cover information with a length lower than a year of data. Commonly, the forecast is done for 1 to 48 hours ahead. Many studies using only autorregresive models (linear or no linear) or, in many cases, one explanatory variable. Usually, the variables forecasted are speed and power. The review shows a tendency in which the authors are experimenting with hybrid models to obtain the advantages of each method used, also, a trend to use classical methods such as neural networks, Support Vector Machines and autoregressive models.

**Keywords:** Forecast, hybrid model, renewable energy, wind energy, wind power.



# Contenido

	<b>Pág.</b>
<b>Resumen</b>	<b>VII</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>X</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XI</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Conceptos básicos en el pronóstico de series de velocidad de viento para generación eólica</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Metodología</b> .....	<b>9</b>
3.1 Proceso de búsqueda.....	9
3.2 Criterios de inclusión y exclusión .....	11
3.3 Recolección y análisis de datos .....	12
<b>4. Resultados</b> .....	<b>13</b>
<b>5. Discusión</b> .....	<b>17</b>
5.1 ¿Cuál es el origen, el rango y la frecuencia de las series de tiempo históricas usadas en el pronóstico de velocidad de viento? .....	17
5.2 ¿Cuál es el horizonte del pronóstico de series de viento en los estudios reportados?.....	19
5.3 ¿Cuáles variables son analizadas en los documentos seleccionados? .....	20
5.4 ¿Cuál es la variable pronosticada en los documentos analizados? .....	21
5.5 ¿Cuál es la antigüedad de las series históricas usadas en los documentos? .....	21
5.6 ¿Cuáles son los métodos usados para pronosticar la velocidad de viento para generación eólica? .....	22
5.7 ¿Cuáles son las variables de medición del error de los métodos para pronosticar la velocidad de viento?.....	23
5.8 ¿Cuáles medidas de ajuste han sido utilizadas para medir la precisión de los modelos? .....	24
5.9 ¿Cuáles son las principales conclusiones a las que llegaron los investigadores en la literatura revisada? .....	24
<b>6. Conclusiones y recomendaciones</b> .....	<b>27</b>
6.1.1 Conclusiones .....	27
6.1.2 Recomendaciones.....	29
<b>Bibliografía</b>	<b>31</b>

## Lista de figuras

Pág.

<b>Figura 2-1:</b> Relación Potencia y Velocidad de viento .....	7
<b>Figura 4-1:</b> Cantidad de documentos publicados por año .....	14
<b>Figura 4-2:</b> Número de citas de los documentos .....	14
<b>Figura 4-3:</b> Palabras clave en los documentos seleccionados .....	15
<b>Figura 4-4:</b> Documentos publicados por país de origen de las instituciones.....	15
<b>Figura 5-1:</b> País de origen de las series de tiempo usadas en los métodos de pronóstico .....	17
<b>Figura 5-2:</b> Frecuencia de muestreo de series medidas y frecuencia de muestreo en el pronóstico .....	18
<b>Figura 5-3:</b> Rango de la serie histórica analizadas en los documentos seleccionados .....	19
<b>Figura 5-4:</b> Horizonte de pronóstico.....	19
<b>Figura 5-5:</b> Variables utilizadas en el pronóstico.....	20
<b>Figura 5-6:</b> Numero de variables utilizadas en cada documento .....	20
<b>Figura 5-7:</b> Pruebas de error usadas en los documentos seleccionados .....	23
<b>Figura 5-8:</b> Datos utilizamos en el entrenamiento de los modelos.....	24

## Lista de tablas

### Pág.

<b>Tabla 5-1:</b>	Antigüedad de las series de tiempo utilizadas en los documentos seleccionados...	21
<b>Tabla 5-2:</b>	Principales métodos usados .....	22
<b>Tabla 5-3:</b>	Principales métodos híbridos usados .....	23



# 1. Introducción

El pronóstico de la velocidad del viento para generación eólica ha cobrado importancia debido a la acelerada penetración de fuentes de generación intermitentes a nivel mundial durante la última década; en el año 2016 la capacidad instalada eólica mundial fue 466.5 GW, con un crecimiento del 12% con respecto al año 2015 [1]; este crecimiento genera nuevos retos para los sistemas de potencia y los mercados energéticos.

La generación eólica se caracteriza por ser intermitente, de gran incertidumbre y volátil, debido a la naturaleza propia de los vientos [2][3]; una apropiada proyección de la generación eólica permite una mejor operación de los sistemas eléctricos de potencia, logrando optimizar el despacho o asignación de los recursos disponibles [4], también permite una adecuada programación de los servicios auxiliares, como por ejemplo el control secundario de frecuencia (AGC por sus siglas en inglés, Automatic Generation Control) y la mejora de la estabilidad del sistema [2][5], entre otros beneficios.

Adicionalmente, una acertada proyección de la generación eólica permite a los inversionistas realizar una mejor evaluación de proyectos y durante la etapa de operación disminuir costos asociados a penalidades por no cumplir con los compromisos de entrega de energía [2], así como optimizar la planeación de mantenimientos [6].

Debido a que existe una amplia diversidad de estudios publicados donde se aplican diferentes métodos para pronosticar la velocidad de viento, es necesario realizar una revisión donde se analicen las principales contribuciones que se han realizado sobre pronóstico de velocidad de viento para generación eólica, mediante un método auditable, ordenado y reproducible. Esta revisión resuelve la necesidad de identificar y resumir los principales hallazgos existentes sobre este tema con el fin de tener una visión clara sobre la evolución de este campo [7]. Más aún, se han desarrollado diferentes métodos y combinaciones de técnicas para el pronóstico de la velocidad de viento para generación eólica. El número de estudios publicados sobre este tema ha crecido continuamente desde el año 2000.

En la literatura se pueden encontrar trabajos previos donde se realizan revisiones de literatura, en el año 2014 se realizó una revisión de literatura que abarcaba los trabajos de pronóstico de series de tiempo hasta el año 2012 [2], en el año 2012 [239] se realiza una revisión de literatura enfocada en los métodos de pronóstico para series de corto plazo basados en técnicas de soft computing models. En el año 2012 se realiza una revisión de literatura enfocada en modelos híbridos [103], en el año 2016 se publicó un trabajo donde se realiza una revisión de los pronósticos de velocidad de viento enfocado solamente en métodos estadísticos incluyendo estudios publicados al inicio del año 2016 [13], debido a la cantidad de publicaciones realizadas desde el año 2012 al año 2017 de temas relacionados con pronóstico de velocidad de viento, la importancia del tema y que en las anteriores revisiones no se aplica un método auditable, ordenado y reproducible, se realiza en este trabajo una revisión que permita dar cuenta del desarrollo del tema en los últimos cinco años.

Este trabajo busca presentar los principales métodos que se han usado para pronosticar series de velocidad de viento para generación eólica, con el fin de poder resumir y organizar los principales trabajos existentes a la fecha, así como también proporcionar una guía a la literatura. Para lograr este objetivo se consolidó una base de datos con más de doscientas setenta publicaciones y se realizó un mapeo de la información recolectada.

Teniendo como alcance, realizar un mapeo para clasificar, organizar y caracterizar la información existente más relevante de los estudios empíricos que evalúan los métodos usados en la proyección de velocidad del viento para generación eólica durante el periodo de tiempo desde enero del año 2012 a abril del año 2017, sin entrar en el detalle teórico de los modelos, la estructura matemática ni el análisis de la implementación. La principal limitante en este proceso es el volumen de información y documentos publicados sobre temas relacionados con velocidad de viento que no están relacionados con generación de electricidad generando una ecuación de búsqueda compleja y teniendo la necesidad una depuración manual de una escala grande.

Así, el objetivo de este trabajo es responder las siguientes preguntas de investigación:

- Q1. ¿Cuál es el origen, el rango y la frecuencia de las series de tiempo históricas usadas en el pronóstico de velocidad de viento?
- Q2. ¿Cuál es el horizonte del pronóstico de series de viento usadas en los estudios reportados?
- Q3. ¿Cuáles variables son analizadas en los documentos seleccionados?

- Q4. ¿Cuál es la variable pronosticada en los documentos analizados?
- Q5. ¿Cuál es la antigüedad de las series históricas usadas en los documentos?
- Q6. ¿Cuáles son los métodos usados para pronosticar la velocidad de viento para generación eólica?
- Q7. ¿Cuáles son las variables de medición del error de los métodos para pronosticar la velocidad de viento?
- Q8. ¿Cuáles medidas de ajuste han sido utilizadas para medir la precisión de los modelos?
- Q9. ¿Cuáles son las principales conclusiones a las que llegaron los investigadores en la literatura revisada?

Las respuestas a las preguntas de investigación tienen un impacto positivo para: los investigadores del área de ingeniería interesados en el pronóstico de velocidad de viento para generación eólica, que quieran conocer los modelos existentes y las posibles combinaciones de modelos; los diferentes participantes de los mercados de energía como inversionistas, operadores de mercado o en general quienes quieran aplicar modelos de pronósticos que disminuyan la incertidumbre en la generación de recursos intermitentes como la generación eólica.

En el contexto nacional existe un alto grado de interés en el desarrollo de los modelos de pronóstico de generación eólica, por el alto potencial eólico en la región de la Guajira, zona norte del país, que se espera inicie pronto su aprovechamiento, de acuerdo con el plan de expansión en generación y transmisión 2016-2030 publicado por la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) [8], existen solicitudes de conexión de proyectos eólicos por un total de 3131MW que corresponderían a cerca del 16% de la capacidad instalada del país, actualmente se están realizando los trámites de adecuamiento de la infraestructura de transporte de energía de la región para garantizar la conexión de estos recursos energéticos, dividido en dos etapas, la primera etapa busca garantizar la conexión de 1451 MW a través de una subestación colectora con fecha de entrada en operación del año 2022, y la segunda etapa busca garantizar la conexión de la capacidad restante a través de una segunda colectora.

Este documento está organizado de la siguiente forma: en el capítulo 2 se muestran los conceptos básicos en el pronóstico de series de velocidad de viento para generación eólica, en el capítulo 3 se discute la metodología usada en la búsqueda y selección de los artículos; en el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos del mapeo; en el capítulo 5 se responden las preguntas de investigación y finalmente se concluye en el capítulo 6.





## 2. Conceptos básicos en el pronóstico de series de velocidad de viento para generación eólica

El pronóstico de la velocidad de viento tiene una alta dificultad debido a que el humano no puede controlar directamente el viento [9], adicionalmente la naturaleza estocástica, volátil, no lineal y la dependencia de condiciones meteorológicas como la presión atmosférica, temperatura y condiciones del terreno [10] aumentan la complejidad.

En la literatura se encuentran diferentes acercamientos en el estudio de velocidad de viento, estos estudios se pueden clasificar en cinco grandes grupos:

- **Modelos físicos:** Basados en la caracterización detallada de las turbinas, parámetros topográficos y variables atmosféricas [11], adicionalmente puede utilizar información de modelos numéricos de predicción del clima regionales; estos métodos no necesitan información histórica para proyectar la energía generada por el parque eólico [3].
- **Modelos estadísticos:** Basados en la relación de cada variable con la serie histórica y sus características estadísticas [11], dirección de viento, temperatura, generación histórica e información relevante para construir y entrenar modelos para proyectar la generación eólica de manera directa o indirecta (velocidad de viento) [3], Dentro de esta categoría se puede encontrar los modelos ARIMA (Autoregresivo integrado de media móvil) y los filtros de Kalman
- **Modelos de correlación espacial:** Basados en la relación espacial de la velocidad de viento en lugares específicos. [11]
- **Modelos de inteligencia artificial:** Basados en series históricas, pero usando técnicas avanzadas de reconocimiento de patrones [11]
- **Modelos híbridos:** Basados en combinaciones de dos o más modelos buscando aprovechar las ventajas y mitigar las debilidades que ofrece cada modelo de manera individual [12]

Adicionalmente existe una clasificación de los modelos basado en el horizonte de pronóstico desarrollado, existen autores con definiciones similares de los plazos como en [12] o en [13], donde la clasificación de los plazos de proyección define el largo plazo hasta una semana de longitud.

- **Muy corto plazo:** Horizonte de pocos segundos a 30 minutos, útil en aplicaciones de control
- **Corto Plazo:** Horizonte de 30 a 72 horas, útil en la programación del despacho
- **Mediano plazo:** Horizonte de 6 horas a una semana, Útil en la programación de mantenimientos
- **Largo Plazo:** Horizonte de una semana o más, útil en evaluaciones financieras y diseño de parques eólicos

Debido a que el principal interés de este tipo de modelos es realizar estimaciones de la generación eólica esperada en el sistema eléctrico para tomar las medidas necesarias en el aseguramiento de la operación, en la Ecuación (2.1) se muestra las variables físicas que se encuentran relacionadas con la potencia generada por un aerogenerador, destaca la relación cúbica con la velocidad de viento, también la relación lineal entre la densidad del aire y la potencia del aerogenerador [14][15][16][17], donde  $P$  es la potencia,  $c_p$  es un factor de pérdidas,  $\rho$  es la densidad del aire,  $A$  es el área de las aspas y  $v$  es la velocidad del viento

$$P = \frac{1}{2} c_p \rho A v^3 \quad (2.1)$$

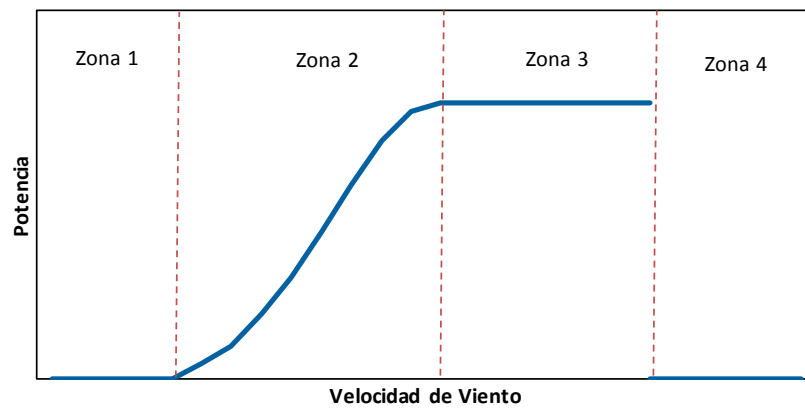
La densidad del viento depende de las variables atmosféricas del lugar de instalación del parque eólico, las principales variables que tienen relación son la temperatura (correlación negativa), la humedad (correlación negativa), la presión atmosférica (correlación positiva).

Una curva típica de un aerogenerador se puede observar en la Figura 2-1 [14], esta curva se puede dividir en cuatro zonas de operación:

- **Zona 1:** En la primera zona la generación es igual a cero, debido a que existe una velocidad mínima a la cual operan los aerogeneradores.
- **Zona 2:** La zona 2 inicia cuando se supera la velocidad mínima y se llega a la potencia nominal del aerogenerador, en esta zona la relación entre potencia y velocidad de viento está representada por la Ecuación (2.1).

- Zona 3: La zona 3 se alcanza al llegar a la potencia nominal del aerogenerador, en esta zona el incremento de la velocidad de viento no genera incremento en la potencia, esta zona se extiende hasta la velocidad máxima de corte.
- Zona 4: Cuando se alcanza la velocidad máxima se llega a la zona 4; en la cual la generación es igual a cero, para evitar daños y por seguridad, se aplican los frenos de emergencia.

**Figura 2-1:** Relación Potencia y Velocidad de viento





## **3. Metodología**

La metodología de investigación empleada está basada en la Revisión Sistemática de Literatura, que permite identificar, evaluar e interpretar los hallazgos disponibles de un fenómeno o tópico de interés, mediante un método sistemático de búsqueda auditable, ordenado y reproducible de búsqueda de análisis estudios primarios, evitando el sesgo del autor [7].

La metodología empleada es descrita a continuación y consta de los siguientes pasos:

- Proceso de búsqueda.
- Definición de los criterios de inclusión y exclusión.
- Descripción del proceso de recolección de datos
- Resultados obtenidos.

### **3.1 Proceso de búsqueda**

Como base de datos bibliográfica se usó el servicio SCOPUS de Elsevier. Esta base de datos fue elegida para el desarrollo de este trabajo de grado porque es la base de datos que agrupa la mayor cantidad de abstract y citas de literatura científica incluyendo las principales revistas de ingeniería, permitiendo un rápido acceso a los documentos debido a la licencia con la que cuenta la Universidad.

La cadena de búsqueda utilizada fue construida a partir de las palabras clave suministradas en artículos consultados en la preparación inicial de la investigación bajo los siguientes parámetros:

Se incluyen los trabajos que contengan en el título, abstract o palabras clave las palabras en inglés:

- velocidad de viento seguidas (Wind Speed)
- Potencia eólica (Wind Power)

- Las palabras pronóstico o predicción y sus diferentes terminaciones (forecast\* o predict\*), el asterisco al final de la palabra indica que busca todas las palabras con esa raíz.

A continuación, se muestran las palabras que son eliminadas del criterio de búsqueda, debido a que han referencia a temas que se encuentran fuera del espectro que se desea analizar, por ejemplo, no es de interés para este trabajo de grado los temas relacionados con los mercados de energía o algunos fenómenos naturales en lo que son necesarias proyecciones de velocidad de viento y no tiene influencia en la generación de energía.

Se excluyen las palabras en el título, abstract y palabras clave en inglés, que hacen referencia a:

- Líneas de transmisión (transmission)
- Generación con otra tecnología: térmico (therm\*), fotovoltaico (Photovoltaic\*), diesel, almacenamiento (stor\*), olas (wave)
- Fenómenos climáticos: tormenta (storm\*), hielo ice\*, tifón (typhoon), incendios (fire\*), ciclón (cyclon), corrientes (stream), estela (wake), turbulencia (turbul\*), anormales (abnorm\*), dispersión (disper\*), chispa (spar), radar, satélites (satellit\*), flicker\*, polar\*
- Vehículos (vehicle\*), vuelo (flight\*), urbano (urban\*)
- Diseño de estructuras o equipos: ejes (axis, axial), materiales (material\*), rotor, falla (fault\*), doble (doubly), aspas (plume\*), acústico (acoust\*), sobrecostos (overhead), vibraciones (vibra\*), deslizamiento (drift\*), lagos (lake\*), arena (sand\*)
- Resumen breve (synop\*), Reanálisis (reanal\*)

Se excluyen las palabras en el título, en inglés, que hacen referencia a:

- Mercado de energía: (market\*), economía (econom\*), programación (schedu\*), evaluación y administración de riesgo (assess\*, manage\*), mantenimiento (mainten\*), despacho (dispat\*), precios (pric\*), penetración (penetra\*), planificación (plann\*), potencial (potential\*), confiabilidad (reliab\*), estabilidad (stabil\*), integración (integrati\*), financiación (finan\*), ubicación (location), monitoreo (monitor\*), ofertas (bid\*), regulación (regulat\*)
- Demanda de energía (demand, load\*, curve\*)
- Control (control\*, bounda\*, limit\*) limpieza (denois\*), armónicos (harmoni\*), comunicación (comm\*)

- Tecnología diferente: hidráulico (hydr\*), Permanent Magnet Synchronous Generator PMSG, galope (gallop\*), aeronáutica (aero\*), baterías (batter\*), coeficientes (coeff\*), Electronica (electroni\*)
- Fenómenos atmosféricos (atmos\*, clima\*), fluctuaciones (fluctua\*), variaciones (vario\*), global (global\*), polución (pollu\*), ruido (noise), evaporación (evapot\*), flujos (Flow, flux\*), mesosfera (mesos\*)
- Diseño de componentes: design\*, gather\*, fixed, 3d, enfriamiento (cool\*), espectros (spectra\*), escala (scala)

Bajo los criterios expresados con anterioridad, la cadena de búsqueda utilizada fue la siguiente:

(TITLE-ABS-KEY (((wind PRE/0 speed) and (wind power)) and (forecast\* OR predict\*)))

AND NOT TITLE-ABS (transmission or axis or Photovoltaic\* or therm\* OR \*storm\* or wake or material\* or flight\* or typhoon or vehicle\* or urban\* or fire\* or rotor or turbul\* or fault\* or doubly or abnorm\* or plume\* or acoust\* or diesel or ice\* or overhead or cyclon\* or disper\* or stor\* or wave or spar or vibra\* or lake\* or sand\* or drift\* or radar or satellit\* or synop\* or flicker\* or reanal\* or polar\* or stream or axial) AND NOT TITLE (market\* or control\* or hydr\* or mainten\* or aero\* or demand or pollu\* or noise or econom\* or schedu\* or assess\* or atmos\* or fluctua\* or vario\* or penetra\* or batter\* or plann\* or curve\* or manage\* or dispat\* or potential\* or reliab\* or stabil\* or load\* or bounda\* or pric\* or clima\* or gallop\* or limit\* or PMSG or global\* or integrati\* or finan\* or location or coeff\* or electroni\* or evapot\* or scala or comm\* or spectra\* or flow or denois\* or cool\* or monitor\* or harmoni\* or bid\* or regulat\* or mesos\* or design\* or gather\* or flux\* or fixed or 3d))

La búsqueda se limitó a las publicaciones desde enero del año 2012 a abril del año 2017; únicamente se consideraron artículos en revistas indexadas, artículos de conferencia y revisiones de literatura. Sólo se incluyeron artículos en inglés.

### 3.2 Criterios de inclusión y exclusión

Se definieron los siguientes criterios de inclusión los cuales deben ser cumplidos en totalidad para que una publicación sea considerada en la investigación:

- Aplica un método de pronóstico de velocidad de viento para generación eólica.
- Reporta explícitamente el aporte realizado.
- Presenta los resultados obtenidos al aplicar el método analizado.

Se consideraron los siguientes criterios de exclusión para los artículos:

- No se discuten temas relacionados con generación eólica.
- Se discuten temas de generación eólica pero que no son propiamente de pronóstico.

### **3.3 Recolección y análisis de datos**

Los datos extraídos de cada estudio fueron los siguientes:

- Autores.
- Año de publicación.
- Citaciones al artículo.
- Palabras clave.
- País de origen de la investigación.
- País de origen de la serie de tiempo.
- Frecuencia y rango de mediciones.
- Frecuencia de pronóstico.
- Horizonte de pronóstico.
- Variables usadas.
- Modelos de pronóstico usados.
- Pruebas de error utilizadas.



## 4. Resultados

Al aplicar la búsqueda diseñada en la base de datos de SCOPUS, se recuperaron 614 documentos; después de aplicar los criterios de inclusión y exclusión realizando una revisión manual de título, resumen y palabras clave, fueron seleccionadas 278 publicaciones para dar respuesta a las preguntas de investigación.

La depuración manual en este caso cobra una gran relevancia debido a que el pronóstico de series de viento es un tema común en diferentes campos de estudio y no solo está enfocado a la generación eólica adicionalmente es un tema de alta divulgación y estudios relacionados sin excluir las palabras clave del numeral 3.1 la búsqueda en el mismo periodo de tiempo superaría los 2000 documentos recuperados y se presentan casos donde son compartidas palabras clave en diferentes tópicos y al excluirla se pierden documentos de interés de este estudio. Un total de 141 documentos fueron descartados por el título y no encontrar relación con el tema, 113 documentos fueron descartados al leer el abstract y determinar que no cumplen con las características de inclusión y 82 documentos que cumplen con las características de inclusión no se encontraban disponibles para descarga.

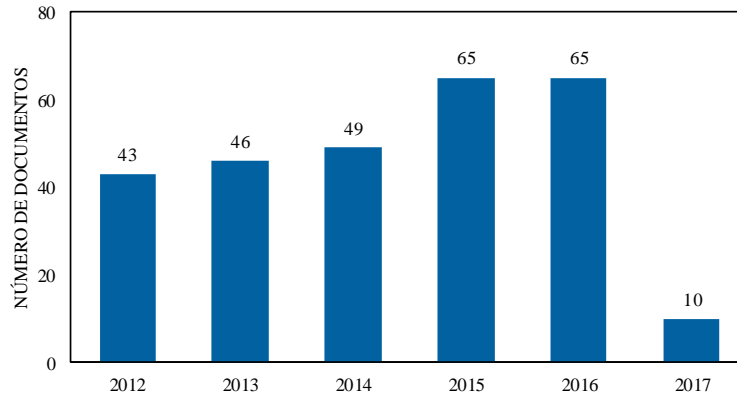
De los documentos seleccionados 133 son memorias de congresos, 142 son artículos en revistas indexadas y tres son revisiones de literatura.

En la Figura 4-1 se muestra la distribución anual de la publicación de artículos desde el año 2012 hasta el año 2017. Se resalta el hecho que para los años de análisis el número de artículos recuperados es creciente en el tiempo (sin incluir el año 2017 donde fueron analizados únicamente 4 meses).

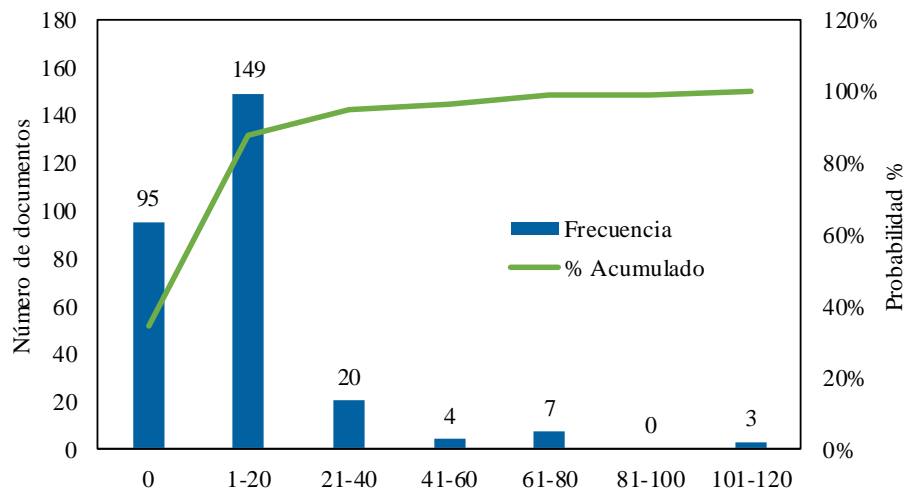
En la Figura 4-2 se muestra el número de citas bibliográficas de los documentos seleccionados, donde el 34% de los artículos no tiene ninguna citación, 54% tiene menos de 20 citaciones, 7% tiene entre 20 y 40 citaciones y solamente el 5% de los documentos cuentan con más de 40 citaciones. El artículo más citado fue escrito por Cassola, F., Burlando, M., en 2012 y describe el uso del filtro de

Kalman para pronosticar la velocidad de viento y la potencia generada por un parque eólico en Italia [18].

**Figura 4-1:** Cantidad de documentos publicados por año

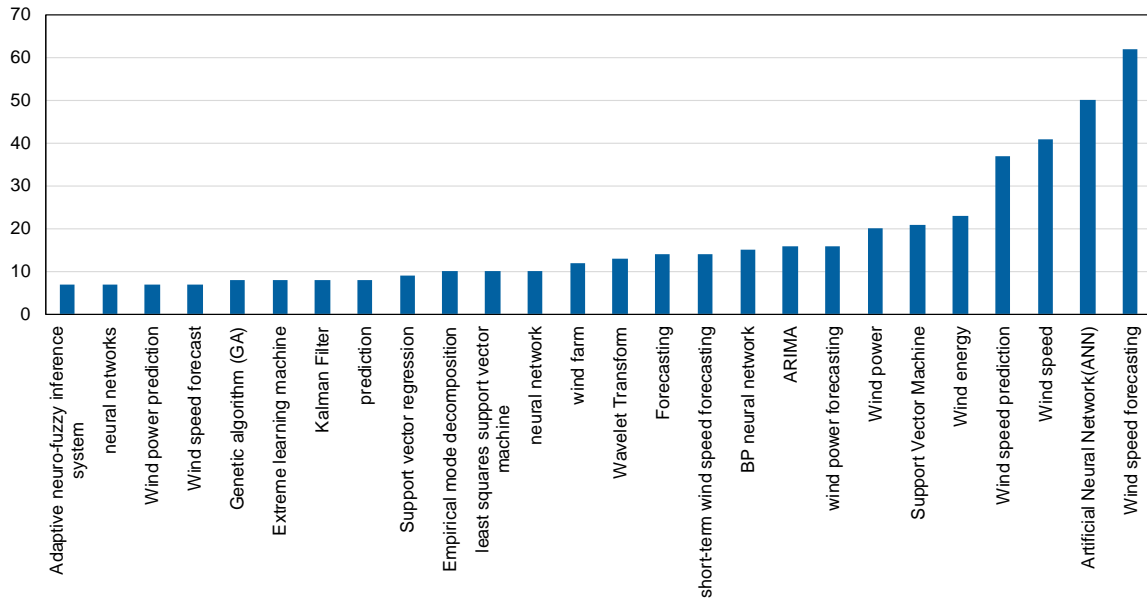


**Figura 4-2:** Número de citas de los documentos



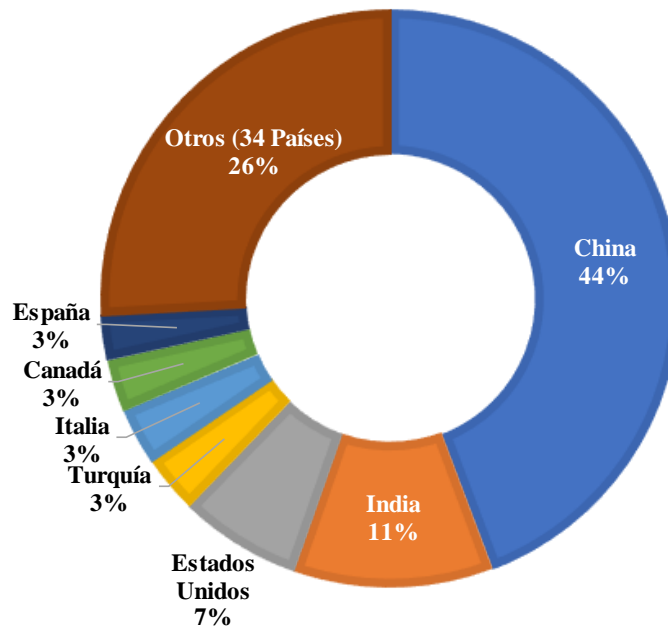
En la Figura 4-3 se muestra el histograma con las palabras clave más utilizadas en los documentos seleccionados; se encontraron más de mil cien palabras diferentes, siendo “Wind Speed Forecasting”, “Wind Speed Prediction”, “Wind Energy”, y “Wind Speed” las palabras clave de mayor relevancia. Además, se observa la nominación de métodos de pronóstico dentro de las series de palabras clave más usadas en los documentos.

**Figura 4-3:** Palabras clave en los documentos seleccionados



En la Figura 4-4 se muestra la distribución de documentos publicados por país de origen. Se destaca China con un 44% del total de documentos, seguido por India con un 11% y Estados Unidos con un 7%; estos tres países se encuentran ubicados dentro de los cinco países con mayor capacidad instalada de generación eólica en el mundo [19]. En los documentos seleccionados participaron más de setecientos autores diferentes.

**Figura 4-4:** Documentos publicados por país de origen de las instituciones





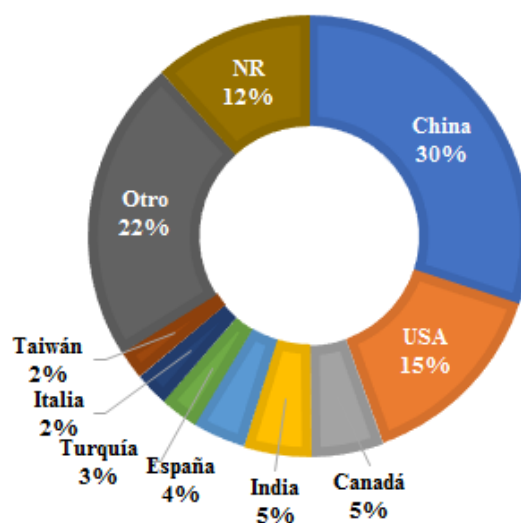
## 5. Discusión

A continuación, se responden las preguntas de investigación propuestas en este trabajo, en los artículos donde no encuentra información se reúnen en la categoría NR (No Reporta).

### 5.1 ¿Cuál es el origen, el rango y la frecuencia de las series de tiempo históricas usadas en el pronóstico de velocidad de viento?

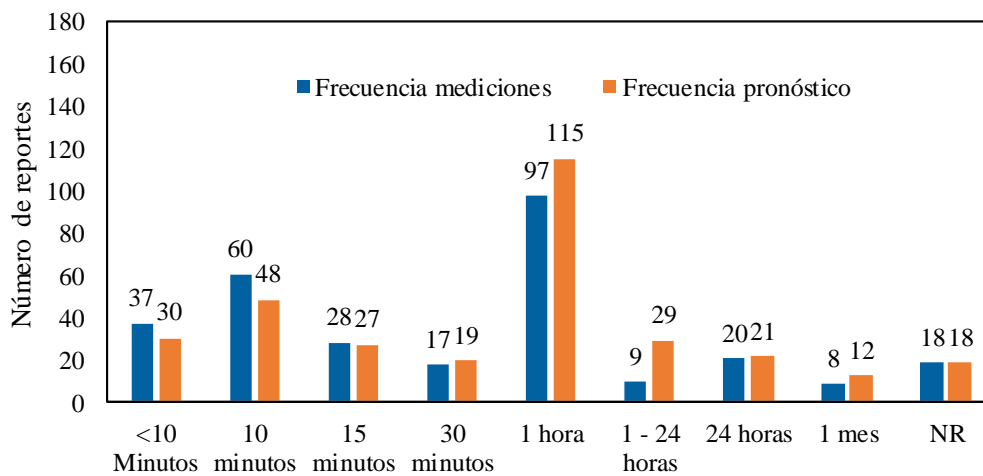
En la Figura 5-1 se muestra el país de origen de las series de tiempo usadas en el pronóstico de series de viento. Se resalta que los países de origen de la información con mayor número de documentos coinciden con los países de origen de las investigaciones, en donde la participación de China disminuye, pero sigue estando en el primer lugar; Estados Unidos y Canadá ocupan el segundo y tercer puesto respectivamente. Se observó que solamente en cinco documentos se analiza con el mismo método series de tiempo de diferentes países.

**Figura 5-1:** País de origen de las series de tiempo usadas en los métodos de pronóstico



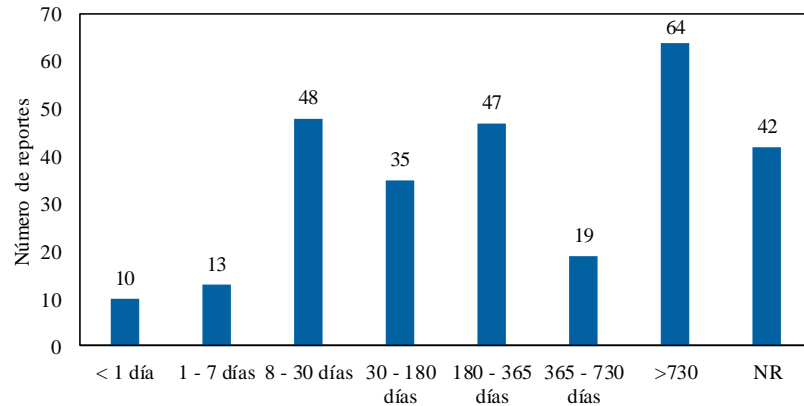
En la Figura 5-2 se muestra la frecuencia de muestreo de las series de viento usadas en el pronóstico de las mismas así como la frecuencia del pronóstico realizado; vale la pena destacar que, en varios documentos, estos dos valores no coinciden debido a que los autores promedian las series originales a una menor frecuencia principalmente por el volumen de la información y los recursos computacionales limitados, siendo la frecuencia más común en el muestreo del pronóstico una hora, seguido por la frecuencia de diez minutos.

**Figura 5-2:** Frecuencia de muestreo de series medidas y frecuencia de muestreo en el pronóstico



En la Figura 5-3 se observa que la mayoría de los documentos analizados cuentan con series históricas de las variables usadas en un rango entre un mes y un año; solamente 83 documentos cuentan con información mayor a un año. Respecto a la variable de pronóstico, debido a que la mayoría de los autores enfocan su interés es en el corto y mediano plazo, el mejorar los métodos en este horizonte ayuda a mitigar los efectos negativos en la operación, seguridad y estabilidad del sistema de potencia que traen la integración de energía eólica debido a su alta variabilidad, volatilidad e intermitencia [20]-[22].

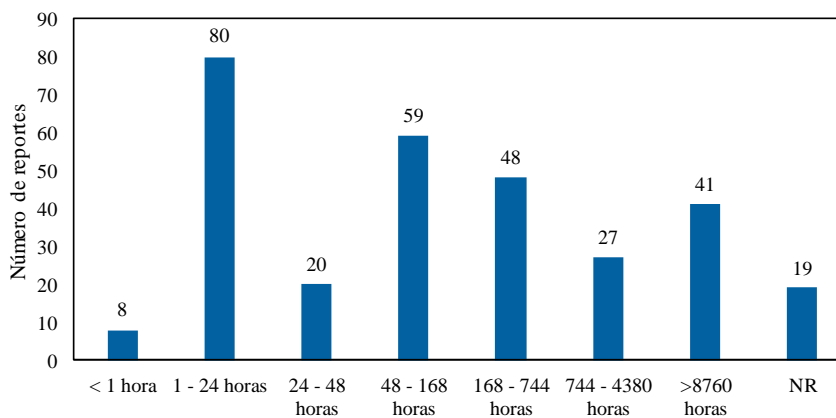
**Figura 5-3:** Rango de la serie histórica analizadas en los documentos seleccionados



## 5.2 ¿Cuál es el horizonte del pronóstico de series de viento en los estudios reportados?

La Figura 5-4 muestra el horizonte de tiempo pronosticado en los diferentes documentos, donde se evidencia que el horizonte más común es encontrado en el rango de 1 y 24 horas, siendo este pronóstico el de mayor interés por los operadores del mercado y promotores de los parques eólicos; su importancia radica que basado en esta información, el operador programa la operación de los sistemas y los agentes producen las ofertas de los parques eólicos. Los pronósticos de mayor horizonte son usados en la optimización de la programación los mantenimientos de los parques eólicos [20], [21].

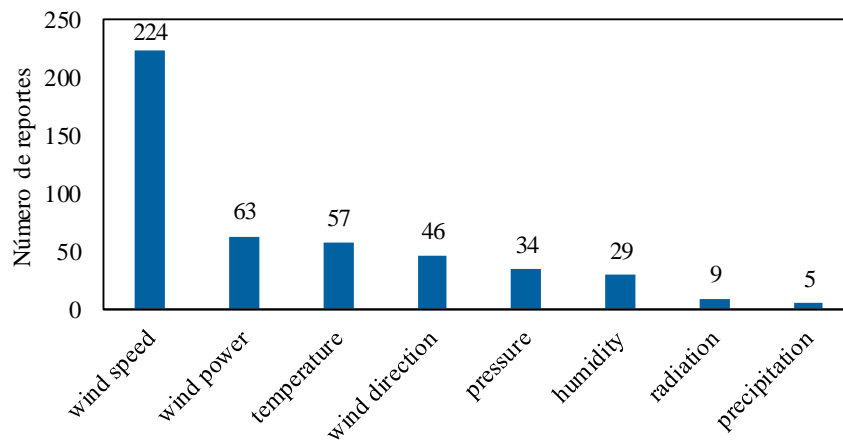
**Figura 5-4:** Horizonte de pronóstico



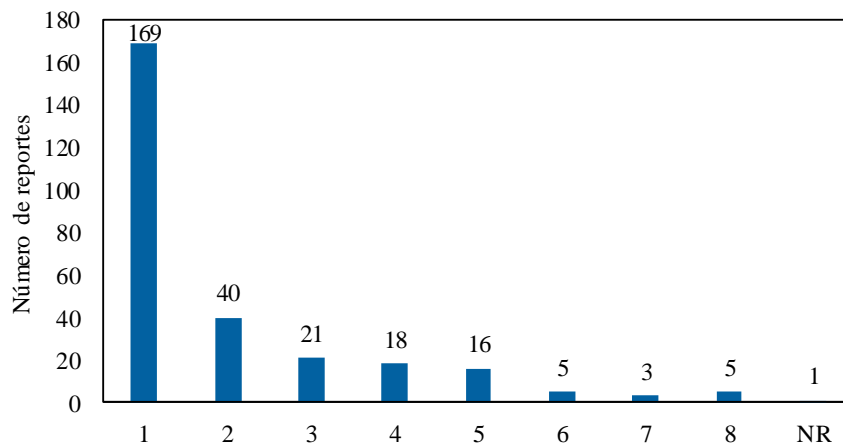
### 5.3 ¿Cuáles variables son analizadas en los documentos seleccionados?

Se observa que la variable más analizada es la velocidad de viento, la potencia generada por los parques eólicos es la segunda, seguida por otras variables atmosféricas que tienen alto impacto en el comportamiento del viento y/o en sus características físicas, como la temperatura, la humedad y la presión atmosférica. En la Figura 5-5 se muestran las variables usadas en los diferentes documentos analizados y en la Figura 5-6 se muestra la cantidad de variables usadas en cada documento donde el 60.8% de las publicaciones solo utilizan una variable.

**Figura 5-5:** Variables utilizadas en el pronóstico



**Figura 5-6:** Numero de variables utilizadas en cada documento





### 5.4 ¿Cuál es la variable pronosticada en los documentos analizados?

En 204 de los documentos seleccionados la variable pronosticada es la velocidad del viento, en 29 la variable pronosticada es la potencia del parque eólico y en 43 son pronosticadas las dos variables; en la literatura existe una preferencia por pronosticar la velocidad del viento dada la relación que existe entre ésta y la potencia generada [14], [23], debido a que pequeñas variaciones en la velocidad del viento producen grandes cambios en la potencia generada.

### 5.5 ¿Cuál es la antigüedad de las series históricas usadas en los documentos?

En la Tabla 5-1 se observa que la información de series de tiempo usada en la mayoría de los documentos tiene al menos una diferencia con el año de publicación de dos años; en 10 documentos solo es usada información del mismo año de publicación del documento, y se presentan casos donde la información histórica usada en el pronóstico tiene seis o más años de antigüedad.

**Tabla 5-1:** Antigüedad de las series de tiempo utilizadas en los documentos seleccionados

Último año con información disponible de Serie de tiempo analizada	Año de publicación						
	Año	2012	2013	2014	2015	2016	2017
2016	-	-	-	-	-	2	1
2015	-	-	-	-	3	4	1
2014	-	-	-	3	5	10	1
2013	-	2	5	7	7	7	1
2012	-	4	5	10	12	-	-
2011	3	3	3	7	6	1	-
2010	6	3	6	2	2	-	-
2009	3	4	3	1	1	-	-
2008	2	3	2	1	-	-	-
2007	1	1	3	-	1	-	-
2006	6	3	1	5	4	2	-
2005	-	-	2	2	-	-	-
2004	2	2	1	1	1	-	-
2003	1	2	-	-	-	-	-
2002	-	1	-	1	1	-	-

## 5.6 ¿Cuáles son los métodos usados para pronosticar la velocidad de viento para generación eólica?

En la Tabla 5-2 se muestran los principales métodos usados para pronosticar series de viento para generación eólica obtenidos de la revisión de los documentos seleccionados, se observa que en la mayor parte de los documentos son usados modelos híbridos; los modelos no híbridos más usados son las redes neuronales (NN), Support Vector Machine (SVM) y los modelos auto-regresivos.

**Tabla 5-2:** Principales métodos usados

Modelo	Número de Artículos	Referencia
Modelos Híbridos	85	[8], [12], [21], [24] - [105]
Redes Neuronales (NN)	75	[106], [180]
Modelos AutoRegresivos y de media móvil (todas las variaciones)	32	[13], [14], [112], [117], [128], [130], [131], [140], [144], [158], [160], [181] - [201]
Support vector machine (SVM)	29	[127], [136], [155], [160], [196], [202] - [225]
Back propagation (BP)	20	[204], [213], [217], [219], [226] - [241]
Particle swarm optimization (PSO)	12	[111], [161], [208], [209], [214], [233], [242] - [247]
Numerical Weather Prediction (NWP)	11	[18], [140], [146], [167], [248] - [254]
Support vector regression (SVR)	11	[112], [116], [141], [188], [203], [244], [255] - [259]
Wavelet packet decomposition(WPD)	9	[114], [140], [143], [152], [153], [157], [161], [219], [225]
Kalman filter	8	[18], [131], [134], [196], [260] - [263]
Extreme learning machine (ELM)	6	[10], [234], [264] - [267]
Fuzzy Logic	6	[9], [173], [248], [268] - [270]
Adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS)	5	[111], [159], [175], [271], [272]
otro	22	[273] - [293]

En la Tabla 5-3 se muestran los principales métodos híbridos usados en los documentos seleccionados, donde se destacan los realizados entre transformada wavelet y otros métodos como Redes Neuronales, Modelos Auto-Regresivos, SVM, ANFIS y PSO; así como los modelos híbridos entre Redes Neuronales y modelos Auto-Regresivos, Empirical Mode Decomposition (EMD), ANFIS y modelos híbridos entre EMD y métodos como SVM, ELM, BP y Redes Neuronales.

**Tabla 5-3:** Principales métodos híbridos usados

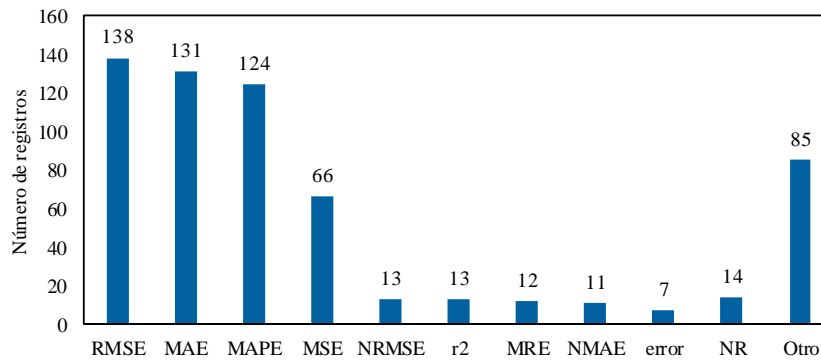
Modelos Híbridos	MLP	NWP	SVR	KALMAN	EMD	BP	ELM	ANFIS	PSO	SVM	AR	NN
Wavelet	1	0	0	0	4	0	1	3	4	4	5	13
NN	3	2	1	5	8	1	1	4	2	2	6	
AR	0	0	1	2	1	2	2	1	1	2		
SVM	0	0	0	0	5	0	1	0	1			
PSO	1	1	0	2	0	0	0	0				
ANFIS	0	0	0	0	1	0	0					
ELM	0	0	0	0	1	0						
BP	0	0	0	0	2							
EMD	1	0	1	0								

<sup>1</sup>

### 5.7 ¿Cuáles son las variables de medición del error de los métodos para pronosticar la velocidad de viento?

Las pruebas de error usadas en los diferentes documentos son RMSE (Root-Mean-Square deviation), MAE (Mean Absolute Error), MAPE (Mean Absolute Percentage Error) y MSE (Mean Squared Error) y pruebas de error normalizadas. El histograma de frecuencias se presenta en la Figura 5-7.

**Figura 5-7:** Pruebas de error usadas en los documentos seleccionados

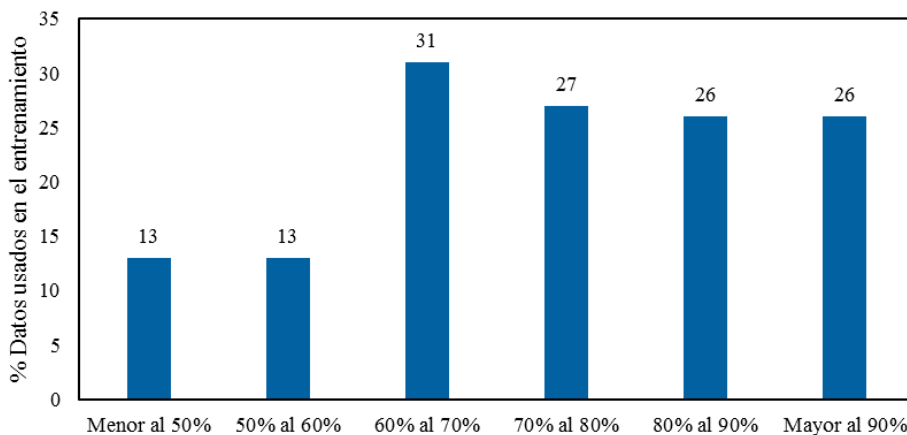


<sup>1</sup> MLP: Multilayer Perceptron  
EMD: Empirical Mode Decomposition

## 5.8 ¿Cuáles medidas de ajuste han sido utilizadas para medir la precisión de los modelos?

En 136 documentos se registra el número de datos de la serie histórica que son utilizados para el entrenamiento de los modelos, con los datos restantes se evalúan y validan los modelos realizando una comparación de los resultados del pronóstico y los valores reales de las series de tiempo, en todos los casos una parte de la serie histórica; de la información recopilada muestra que los autores toman del 60% al 90% de los datos para entrenar y ajustar los modelos y los datos restantes son usados como validación, sobre estos valores de validación se aplican las pruebas de error nombradas en la pregunta 5.7.

**Figura 5-8:** Datos utilizados en el entrenamiento de los modelos



## 5.9 ¿Cuáles son las principales conclusiones a las que llegaron los investigadores en la literatura revisada?

Las principales conclusiones que los autores reportan en los documentos son:

1. Los autores que usan modelos híbridos comparan los resultados con respecto a los resultados de modelos no híbridos, encontrando que existe mejoría la exactitud de los pronósticos de series de viento [23], [24], [26]- [29], [33]- [37], [40], [42], [43], [47], [54], [57], [60], [66], [90], [98], [100]
2. Los modelos de inteligencia artificial producen mejores resultados que los modelos clásicos autoregresivos, debido a la capacidad de reconocimiento de patrones [107], [129], [130], [159], [187], [264]

3. Los modelos autoregresivos mejoran la exactitud y precisión al incluir sofisticaciones como estacionalidad, no linealidad, volatilidad (Modelos Sarima, ARCH, GARCH) [49], [76], [117], [181], [184], [186], [194], [196], [200]
4. Un parámetro de relevancia en la selección de los modelos es el tiempo computacional, el mantenimiento y la complejidad para mantener actualizadas las bases de datos y modelos. [39], [108], [121], [127], [143], [157], [203]
5. El modelo se adapta muy bien al sitio, datos y condiciones analizados, pero no se realiza una comprobación del mismo modelo con series de tiempo de diferente longitud, diferente época, lugar o proyecto. [14], [41], [111], [134], [141]
6. Son reportados los beneficios del mejoramiento de los modelos de pronóstico de series de viento y su importancia en los diferentes aspectos de la operación de los sistemas de potencia, así como para la evaluación de los proyectos. [18], [35], [64], [110], [153], [155], [156], [162], [163], [176], [183], [199]



## **6. Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1.1 Conclusiones**

A continuación, se concluye sobre cada pregunta de investigación planteada en la introducción de este trabajo.

Q1. ¿Cuál es el origen, el rango y la frecuencia de las series de tiempo históricas usadas en el pronóstico de velocidad de viento?

El pronóstico de series de viento para generación eólica es un tema en auge durante los últimos años presentando un alto volumen de documentos publicados alrededor del mundo, especialmente en los países con mayor capacidad instalada de este tipo de energía como China, India y Estados Unidos.

La frecuencia de muestreo de las series de tiempo históricas más usadas es una hora, seguida por diez minutos, en las series de diez minutos o mayor frecuencia de muestreo se puede observar la variabilidad del recurso eólico y así lograr una mejor programación del sistema, pero por el volumen de información requieren un mayor poder y tiempo de cálculo, así como herramientas más sofisticadas de análisis, es por esta razón que en varios documentos la información de entrada se encuentra en una frecuencia diferente a la pronosticada debido a que los autores promedian las series originales a una menor frecuencia por las limitaciones en tecnología.

La longitud de las series históricas de las variables usadas en los estudios varía en un rango entre un mes y un año; solamente 83 documentos cuentan con información mayor a un año, debido a que la mayoría de los autores enfocan su interés es en el corto y mediano plazo, donde mejorar los métodos de pronóstico en este horizonte ayuda a mitigar los efectos negativos en la operación, seguridad y estabilidad de los sistemas de potencia.

Q2. ¿Cuál es el horizonte del pronóstico de series de viento usadas en los estudios reportados?

El horizonte de tiempo pronosticado en los diferentes documentos más común es encontrado en el rango de 1 y 24 horas, siendo este horizonte el de mayor interés para los operadores del mercado y

promotores de los parques eólicos; su importancia radica que basado en esta información, el operador programa la operación de los sistemas y los agentes producen las ofertas de los parques eólicos.

Q3. ¿Cuáles variables son analizadas en los documentos seleccionados?

La variable más analizada es la velocidad de viento debido a que a partir de esta variable se puede determinar la potencia generada por los parques eólicos, el 60.8% de las publicaciones solo utilizan una variable en el pronóstico debido a que la interacción de más variables requiere un mayor esfuerzo computacional y contar con mayor cantidad de información histórica que en la mayoría de los casos es inexistente.

Q4. ¿Cuál es la variable pronosticada en los documentos analizados?

La variable pronosticada es la velocidad del viento debido la relación que existe entre ésta y la potencia generada, también porque una pequeña desviación en el pronóstico de la velocidad de viento puede producir un cambio grande en la potencia debido a la relación cubica que existe entre estas dos variables.

Q5. ¿Cuál es la antigüedad de las series históricas usadas en los documentos?

En la mayoría de los documentos se tiene al menos una diferencia de la información utilizada con el año de publicación de dos años se presentan casos donde la información histórica usada en el pronóstico tiene seis o más años de antigüedad, este envejecimiento de la información se presenta por restricciones en el acceso, confidencialidad o la inexistencia de esta información generando un reto para la aplicación de los métodos de pronóstico y generando dificultad en replicar los estudios y validar los resultados obtenidos.

Q6. ¿Cuáles son los métodos usados para pronosticar la velocidad de viento para generación eólica?

De los resultados obtenidos se observa una tendencia a usar métodos híbridos (26.4%), donde se combinan los principales procedimientos buscando obtener las ventajas y mitigar las desventajas de los mismos. También, se establece una tendencia a usar métodos tradicionales como Redes Neuronales, Support Vector Machine, modelos Auto-Regresivos entre otros.

Q7. ¿Cuáles son las variables de medición del error de los métodos para pronosticar la velocidad de viento?



Son utilizadas las pruebas de medición de error comunes en la estadística, siendo común en los documentos validar la eficacia de un modelo comparando varias pruebas de error, las más utilizadas son: RMSE (Root-Mean-Square deviation), MAE (Mean Absolute Error), MAPE (Mean Absolute Percentage Error) y MSE (Mean Squared Error) y pruebas de error normalizadas.

Q8 ¿Cuáles medidas de ajuste han sido utilizadas para medir la precisión de los modelos?

La precisión de los modelos es realizada mediante una comparación de los resultados del pronóstico y los valores reales de las series de tiempo, siendo una forma fácil y rápida de validación de los resultados, el problema de esta validación es que el método está diseñado y ajustado para una serie específica de un lugar determinado, y no se presentan estudios comparando el poder de un método para series con diferentes ubicaciones espaciales, frecuencia, longitud histórica o periodo de tiempo generando dificultad en la comparación de los diferentes modelos desarrollados.

Q9 ¿Cuáles son las principales conclusiones a las que llegaron los investigadores en la literatura revisada?

Se destaca que el desarrollo de mejores métodos de pronóstico tiene beneficio para diferentes agentes de los mercados de energía, mejorando la programación de los despachos, y la optimización de los servicios auxiliares necesarios en la operación segura de los sistemas de potencia, además de disminuir las penalidades por desviaciones de la programación y lograr una mejor evaluación de los ingresos esperados de los proyectos.

Debido que el comportamiento de la velocidad de viento depende de diferentes variables como la temperatura, la humedad, el terreno, etc., cada lugar que fue analizado en los documentos tiene patrones de comportamiento diferentes y debido a que no ha sido probado el mismo método para diferentes lugares y series de tiempo y similares características de la serie es difícil determinar cuál método puede ser mejor.

### **6.1.2 Recomendaciones**

En trabajos futuros se puede profundizar en un método específico y en los métodos que han tenido mayor relevancia en los últimos años, como son los métodos de inteligencia artificial como Extreme

Learning Machine, Support Vector Machine y los métodos híbridos que proporcionan mayor exactitud en el pronóstico.

Para evaluar la exactitud comparar de una manera objetiva los modelos se debe evaluar bajo las mismas condiciones, la misma serie de tiempo, horizonte, variables adicionales y ubicación.

## Bibliografía

- [1] International Renewable Energy Agency, “Renewable capacity statistics 2016 “. 2016.
- [2] Y. Zhang, J. Wang, and X. Wang, “Review on probabilistic forecasting of wind power generation,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 32, pp. 255–270, 2014.
- [3] J. Varanasi and M. M. Tripathi, “A comparative study of wind power forecasting techniques - A Review article” 2016 International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), pp. 3649–3655, 2016.
- [4] L. Landberg, G. Giebel, H. A. Nielsen, T. Nielsen, and H. Madsen, “Short-term prediction - An overview,” *Wind Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 273–280, 2003.
- [5] A. Lahouar and J. Ben Hadj Slama, “Hour-ahead wind power forecast based on random forests,” *Renew. Energy*, vol. 109, pp. 529–541, 2017.
- [6] J. Lerner, M. Grundmeyer, and M. Garvert, “The importance of wind forecasting,” *Renew. Energy Focus*, vol. 10, no. 2, pp. 64–66, 2009.
- [7] B. Kitchenham and S. Charters, “Guidelines for performing Systematic Literature reviews in Software Engineering Version 2.3,” *Engineering*, vol. 45, no. 4, p. 1051, 2007.
- [8] Unidad de Planeación Minero Energética UPME, “Plan de expansión de referencia Generación – Transmisión 2016-2030, 2017
- [9] Alanis A.Y., Ricalde L.J., Simetti C., Odone F., "Neural model with particle swarm optimization Kalman learning for forecasting in smart grids", *Mathematical Problems in Engineering*, vol.2013, 2013
- [10] Saleh A.E., Moustafa M.S., Abo-Al-Ez K.M., Abdullah A.A., "A hybrid neuro-fuzzy power prediction system for wind energy generation", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol.74, pp.384-395, 2016
- [11] Peng X., Zheng W., Zhang D., Liu Y., Lu D., Lin L., "A novel probabilistic wind speed forecasting based on combination of the adaptive ensemble of on-line sequential ORELM (Outlier Robust Extreme Learning Machine) and TVMCF (time-varying mixture copula function)", *Energy Conversion and Management*, vol.138, pp.587-602, 2017

- 
- [12] Y. Ren, P. N. Suganthan, and N. Srikanth, "Ensemble methods for wind and solar power forecasting—A state-of-the-art review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 82–91, 2015.
- [13] Okumus I., Dinler A., "Current status of wind energy forecasting and a hybrid method for hourly predictions", *Energy Conversion and Management*, vol.123, pp.362-371, 2016
- [14] Ambach D., "Short-term wind speed forecasting in Germany", *Journal of Applied Statistics*, vol.43, pp.351-369, 2016
- [15] Filik T., "Improved spatio-temporal linear models for very short-term wind speed forecasting", *Energies*, vol.9, 2016
- [16] Mbamalu G., Harding A., "A deterministic bases piecewise wind power forecasting models", *International Journal of Renewable Energy Research*, vol.4, pp.137-143, 2014
- [17] Nikolić V., Motamedi S., Shamshirband S., Petković D., Ch S., Arif M., "Extreme learning machine approach for sensorless wind speed estimation", *Mechatronics*, vol.34, pp.78-83, 2016
- [18] Cassola F., Burlando M., "Wind speed and wind energy forecast through Kalman filtering of Numerical Weather Prediction model output", *Applied Energy*, vol.99, pp.154-166, 2012
- [19] G. S. Report, *Renewables 2017 Global Status Report 2017*. 2017.
- [20] G. Jia, D. Li, L. Yao, and P. Zhao, "An Improved Artificial Bee Colony- BP Neural Network Algorithm in the Short-Term Wind Speed Prediction", *12th World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, 2016, no. 2, pp. 2252–2255, 2016.
- [21] Ak R., Fink O., Zio E., "Two Machine Learning Approaches for Short-Term Wind Speed Time-Series Prediction", *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol.27, pp.1734-1747, 2016C. Zhang, H. Wei, L. Xie, Y. Shen and K. Zhang, "Direct interval forecasting of wind speed using radial basis function neural networks in a multi-objective optimization framework," *Neurocomputing*, vol. 205, pp. 53–63, 2016.
- [22] V. Nikolić, S. Motamedi, S. Shamshirband, D. Petković, S. Ch and M. Arif, "Extreme learning machine approach for sensorless wind speed estimation," *Mechatronics*, vol. 34, pp. 78–83, 2016.
- [23] Wang J., Wang Y., "A novel wind speed forecasting model for wind farms of Northwest China", *International Journal of Green Energy*, vol.14, pp.463-478, 2017
- [24] Zhang W., Qu Z., Zhang K., Mao W., Ma Y., Fan X., "A combined model based on CEEMDAN and modified flower pollination algorithm for wind speed forecasting", *Energy Conversion and Management*, vol.136, pp.439-451, 2017

- 
- [25] Shi J., Gong Y., Liu X., Zhu X., "Model optimization for very-short-term wind power forecasting using Hilbert-Huang Transform", 2016 International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies, ICSGCE 2016, pp.239-243, 2016
- [26] Masrur H., Nimol M., Faisal M., Mostafa G., "Short term wind speed forecasting using artificial neural network: A case study", 2016 International Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology, ICISSET 2016, 2016
- [27] Varanasi J., Tripathi M.M., "Artificial Neural Network based wind speed & power forecasting in US wind energy farms", 1st IEEE International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems, ICPEICES 2016, 2016
- [28] Ahmed K., Ewees A.A., Abd El Aziz M., Hassanien A.E., Gaber T., Tsai P.-W., Pan J.-S., "A hybrid krill-ANFIS model for wind speed forecasting", *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol.533, pp.365-372, 2017
- [29] Hong D.Y., Ji T.Y., Zhang L.L., Li M.S., Wu Q.H., "An indirect short-term wind power forecast approach with multi-variable inputs", *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe*, pp.793-798, 2016
- [30] Huang N., Yuan C., Cai G., Xing E., "Hybrid short term wind speed forecasting using variational mode decomposition and a weighted regularized extreme learning machine", *Energies*, vol.9, 2016
- [31] Ye R., Guo Z., Liu R., Liu J., "Short-term wind speed forecasting method based on wavelet packet decomposition and improved Elman neural network", 2016 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, PMAPS 2016 - Proceedings, 2016
- [32] Wang H.Z., Wang G.B., Li G.Q., Peng J.C., Liu Y.T., "Deep belief network based deterministic and probabilistic wind speed forecasting approach", *Applied Energy*, vol.182, pp.80-93, 2016
- [33] Chang G.W., Lu H.J., Hsu L.Y., Chen Y.Y., "A hybrid model for forecasting wind speed and wind power generation", *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, vol.2016-November, 2016
- [34] Morina M., Grimaccia F., Leva S., Mussetta M., "Hybrid weather-based ANN for forecasting the production of a real wind power plant", *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, vol.2016-October, pp.4999-5005, 2016
- [35] Zhang C., Wei H., Zhao X., Liu T., Zhang K., "A Gaussian process regression based hybrid approach for short-term wind speed prediction", *Energy Conversion and Management*, vol.126, pp.1084-1092, 2016

- 
- [36] Zhang C., Wei H., Zhao J., Liu T., Zhu T., Zhang K., "Short-term wind speed forecasting using empirical mode decomposition and feature selection", *Renewable Energy*, vol.96, pp.727-737, 2016
- [37] Abdoos A.A., "A new intelligent method based on combination of VMD and ELM for short term wind power forecasting", *Neurocomputing*, vol.203, pp.111-120, 2016
- [38] Ren Y., Suganthan P.N., Srikanth N., "A Novel Empirical Mode Decomposition with Support Vector Regression for Wind Speed Forecasting", *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol.27, pp.1793-1798, 2016
- [39] Doucoure B., Agbossou K., Cardenas A., "Time series prediction using artificial wavelet neural network and multi-resolution analysis: Application to wind speed data", *Renewable Energy*, vol.92, pp.202-211, 2016
- [40] Liu Y., Wang Y., Li L., Han S., Infield D., "Numerical weather prediction wind correction methods and its impact on computational fluid dynamics based wind power forecasting", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol.8, 2016
- [41] Meng A., Ge J., Yin H., Chen S., "Wind speed forecasting based on wavelet packet decomposition and artificial neural networks trained by crisscross optimization algorithm", *Energy Conversion and Management*, vol.114, pp.75-88, 2016
- [42] Sun W., Liu M., "Wind speed forecasting using FEEMD echo state networks with RELM in Hebei, China", *Energy Conversion and Management*, vol.114, pp.197-208, 2016
- [43] Yin Z., Chen Z., Yin D., Li Q., "A new combination model for short-term wind power prediction", *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies, DRPT 2015*, pp.1869-1873, 2015
- [44] Guo M., Wei Z., Zang H., Sun G., Li H., Cheung K.W., "Short Term wind speed forecasting using wavelet transform and grey model improved by particle swarm optimization", *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies, DRPT 2015*, pp.1879-1884, 2015
- [45] Tascikaraoglu A., Sanandaji B.M., Poolla K., Varaiya P., "Exploiting sparsity of interconnections in spatio-temporal wind speed forecasting using Wavelet Transform", *Applied Energy*, vol.165, pp.735-747, 2016
- [46] Finamore A.R., Calderaro V., Galdi V., Piccolo A., Conio G., Grasso S., "A day-ahead wind speed forecasting using data-mining model-a feed-forward NN algorithm", *2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2015*, pp.1230-1235, 2015

- 
- [47] Dokur E., Kurban M., Ceyhan S., "Hybrid model for short term wind speed forecasting using empirical mode decomposition and artificial neural network", *ELECO 2015 - 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, pp.420-423, 2015
- [48] Yan P., Zheng Q., Niya C., "Wind power forecasting considering wind turbine condition", *Proceedings of the 2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia, ISGT ASIA 2015*, 2015
- [49] Zhao E., Zhao J., Liu L., Su Z., An N., "Hybrid wind speed prediction based on a self-adaptive ARIMAX model with an exogenous WRF simulation", *Energies*, vol.9, 2016
- [50] Xu X., Song X., Wang Q., Liu Z., Wang J., Li Z., "Hybrid forecasting model based data mining and cuckoo search: A case study of wind speed time series", *Open Fuels and Energy Science Journal*, vol.9, pp.65-76, 2016
- [51] Wang J., Hu J., "A robust combination approach for short-term wind speed forecasting and analysis - Combination of the ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), ELM (Extreme Learning Machine), SVM (Support Vector Machine) and LSSVM (Least Square SVM) forecasts using a GPR (Gaussian Process Regression) model", *Energy*, vol.93, pp.41-56, 2015
- [52] Carta J.A., Cabrera P., Matías J.M., Castellano F., "Comparison of feature selection methods using ANNs in MCP-wind speed methods. A case study", *Applied Energy*, vol.158, pp.490-507, 2015
- [53] Qin S., Liu F., Wang J., Song Y., "Interval forecasts of a novelty hybrid model for wind speeds", *Energy Reports*, vol.1, pp.8-16, 2015
- [54] Liu H., Tian H.-Q., Liang X.-F., Li Y.-F., "Wind speed forecasting approach using secondary decomposition algorithm and Elman neural networks", *Applied Energy*, vol.157, pp.183-194, 2015
- [55] Liu H., Tian H., Liang X., Li Y., "New wind speed forecasting approaches using fast ensemble empirical model decomposition, genetic algorithm, Mind Evolutionary Algorithm and Artificial Neural Networks", *Renewable Energy*, vol.83, pp.1066-1075, 2015
- [56] De Aquino R.R.B., Souza R.B., Neto O.N., Lira M.M.S., Carvalho M.A., Jr., Ferreira A.A., "Echo state networks, artificial neural networks and fuzzy systems models for improve short-term wind speed forecasting", *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, vol.2015-September, 2015
- [57] Wang J., Hu J., Ma K., Zhang Y., "A self-adaptive hybrid approach for wind speed forecasting", *Renewable Energy*, vol.78, pp.374-385, 2015

- 
- [58] Wang J., Qin S., Zhou Q., Jiang H., "Medium-term wind speeds forecasting utilizing hybrid models for three different sites in Xinjiang, China", *Renewable Energy*, vol.76, pp.91-101, 2015
- [59] Wang J.-Z., Wang Y., Jiang P., "The study and application of a novel hybrid forecasting model - A case study of wind speed forecasting in China", *Applied Energy*, vol.143, pp.472-488, 2015
- [60] Jiang P., Li X., Dong Y., "Research and application of a new hybrid forecasting model based on genetic algorithm optimization: A case study of Shandong wind farm in China", *Mathematical Problems in Engineering*, vol.2015, 2015
- [61] Xiao L., Wang J., Dong Y., Wu J., "Combined forecasting models for wind energy forecasting: A case study in China", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.44, pp.271-288, 2015
- [62] Hu J., Wang J., "Short-term wind speed prediction using empirical wavelet transform and Gaussian process regression", *Energy*, vol.93, pp.1456-1466, 2015
- [63] Haque A.U., Mandal P., Meng J., Negnevitsky M., "Wind speed forecast model for wind farm based on a hybrid machine learning algorithm", *International Journal of Sustainable Energy*, vol.34, pp.38-51, 2015
- [64] Wang J., Jiang H., Han B., Zhou Q., "An experimental investigation of FNN model for wind speed forecasting using EEMD and CS", *Mathematical Problems in Engineering*, vol.2015, 2015
- [65] Liu H., Tian H.-Q., Li Y.-F., "Comparison of new hybrid FEEMD-MLP, FEEMD-ANFIS, Wavelet Packet-MLP and Wavelet Packet-ANFIS for wind speed predictions", *Energy Conversion and Management*, vol.89, pp.1-11, 2014
- [66] Wang J., Zhou Q., Jiang H., Hou R., "Short-Term Wind Speed Forecasting Using Support Vector Regression Optimized by Cuckoo Optimization Algorithm", *Mathematical Problems in Engineering*, vol.2015, 2015
- [67] Sun W., Liu M., Liang Y., "Wind speed forecasting based on FEEMD and LSSVM optimized by the bat algorithm", *Energies*, vol.8, pp.6585-6607, 2015
- [68] Li S., Wang H., Tian Y., Shen Y., Aitouche A., "Wind speed forecasting based on fuzzy-neural network combination method", *Proceedings of the 2015 27th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2015*, pp.4811-4816, 2015
- [69] Pan K., Qian Z., Chen N., "Probabilistic Short-Term Wind Power Forecasting Using Sparse Bayesian Learning and NWP", *Mathematical Problems in Engineering*, vol.2015, 2015



- 
- [70] Bracale A., De Falco P., "An advanced bayesian method for short-term probabilistic forecasting of the generation of wind power", *Energies*, vol.8, pp.10293-10314, 2015
- [71] Ma L., Li B., Yang Z.B., Du J., Wang J., "A new combination prediction model for short-term wind farm output power based on meteorological data collected by WSN", *International Journal of Control and Automation*, vol.7, pp.171-180, 2014
- [72] Liu D., Niu D., Wang H., Fan L., "Short-term wind speed forecasting using wavelet transform and support vector machines optimized by genetic algorithm", *Renewable Energy*, vol.62, pp.592-597, 2014
- [73] Xiao Y., Li C., Wang P., "Short time forecast of wind speed based on EMD and SVM", *Moving Integrated Product Development to Service Clouds in the Global Economy - Proceedings of the 21st ISPE Inc. International Conference on Concurrent Engineering*, CE 2014, pp.806-812, 2014
- [74] Guo Z., Chi D., Wu J., Zhang W., "A new wind speed forecasting strategy based on the chaotic time series modelling technique and the Apriori algorithm", *Energy Conversion and Management*, vol.84, pp.140-151, 2014
- [75] Chen K., Yu J., "Short-term wind speed prediction using an unscented Kalman filter based state-space support vector regression approach", *Applied Energy*, vol.113, pp.690-705, 2014
- [76] Su Z., Wang J., Lu H., Zhao G., "A new hybrid model optimized by an intelligent optimization algorithm for wind speed forecasting", *Energy Conversion and Management*, vol.85, pp.443-452, 2014
- [77] Salcedo-Sanz S., Pastor-Sánchez A., Prieto L., Blanco-Aguilera A., García-Herrera R., "Feature selection in wind speed prediction systems based on a hybrid coral reefs optimization - Extreme learning machine approach", *Energy Conversion and Management*, vol.87, pp.10-18, 2014
- [78] Xue X., Zhao D.-M., Dong H.-H., Wang J.-Y., Zhao W.-H., "A novel hybrid approach for wind power forecasting", *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol.238 LNEE, pp.1019-1027, 2014
- [79] Gao Y., Miao H., "Wind power forecasting based on wavelet neural network and particle swarm optimization", *IET Conference Publications*, vol.2013, 2013
- [80] Hu J., Wang J., Zeng G., "A hybrid forecasting approach applied to wind speed time series", *Renewable Energy*, vol.60, pp.185-194, 2013

- 
- [81] Wang Y., Wang S., Zhang Na., "A novel wind speed forecasting method based on ensemble empirical mode decomposition and GA-BP neural network", IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2013
- [82] Hong Y.-Y., Yu T.-H., Liu C.-Y., "Hour-ahead wind speed and power forecasting using empirical mode decomposition", *Energies*, vol.6, pp.6137-6152, 2013
- [83] Chang W.-Y., "Short-term wind power forecasting using the enhanced particle swarm optimization based hybrid method", *Energies*, vol.6, pp.4879-4896, 2013
- [84] Yu J., Chen K., Mori J., Rashid M.M., "A Gaussian mixture copula model based localized Gaussian process regression approach for long-term wind speed prediction", *Energy*, vol.61, pp.673-686, 2013
- [85] Chen N., Qian Z., Meng X., "Multistep wind speed forecasting based on wavelet and gaussian processes", *Mathematical Problems in Engineering*, vol.2013, 2013
- [86] Liu H., Tian H.-Q., Pan D.-F., Li Y.-F., "Forecasting models for wind speed using wavelet, wavelet packet, time series and Artificial Neural Networks", *Applied Energy*, vol.107, pp.191-208, 2013
- [87] Zhang W., Wang J., Wang J., Zhao Z., Tian M., "Short-term wind speed forecasting based on a hybrid model", *Applied Soft Computing Journal*, vol.13, pp.3225-3233, 2013
- [88] Ramesh Babu N., Arulmozhivarman P., "Improving forecast accuracy of wind speed using wavelet transform and neural networks", *Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol.8, pp.559-564, 2013
- [89] Liu H., Tian H.-Q., Chen C., Li Y.-F., "An experimental investigation of two Wavelet-MLP hybrid frameworks for wind speed prediction using GA and PSO optimization", *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol.52, pp.161-173, 2013
- [90] Yao C., Gao X., Yu Y., "Wind speed forecasting by wavelet neural networks: A comparative study", *Mathematical Problems in Engineering*, vol.2013, 2013
- [91] Shi N., Zhou S.-Q., Zhu X.-H., Su X.-W., Zhao X.-Y., "Wind speed forecasting based on grey predictor and genetic neural network models", *Proceedings of 2013 2nd International Conference on Measurement, Information and Control, ICMIC 2013*, vol.2, pp.1479-1482, 2013
- [92] Senkal S., Ozgonenel O., "Performance analysis of artificial and wavelet neural networks for short term wind speed prediction", *ELECO 2013 - 8th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*, pp.196-198, 2013
- [93] Martínez-Arellano G., Nolle L., "Short-term wind power forecasting with WRF-ARW model and genetic programming", *Mendel*, pp.51-56, 2013

- 
- [94] Strunk A., Brombach J., Meis J., Sehnke F., Felder M., Kaifel A., "Wind resource estimation using a MCP method based on deep neural networks", European Wind Energy Conference and Exhibition, EWEC 2013, vol.1, pp.476-480, 2013
- [95] Ricalde L.J., Cruz B., Catzin G., Alanis A.Y., Sanchez E.N., "Forecasting for smart grid applications with Higher Order Neural Networks", World Automation Congress Proceedings, 2012
- [96] Haque A.U., Mandal P., Meng J., Kaye M.E., Chang L., "A new strategy for wind speed forecasting using hybrid intelligent models", 2012 25th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering: Vision for a Greener Future, CCECE 2012, 2012
- [97] Sharma D., Lie T.T., "Wind speed forecasting using hybrid ANN-Kalman Filter techniques", 10th International Power and Energy Conference, IPEC 2012, pp.644-648, 2012
- [98] Liu H., Chen C., Tian H.-Q., Li Y.-F., "A hybrid model for wind speed prediction using empirical mode decomposition and artificial neural networks", Renewable Energy, vol.48, pp.545-556, 2012
- [99] Haque A.U., Mandal P., Meng J., Srivastava A.K., Tseng T.-L., Senjyu T., "A novel hybrid approach based on wavelet transform and fuzzy ARTMAP network for predicting wind farm power production", Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society), 2012
- [100] Liu H., Tian H.-Q., Li Y.-F., "Comparison of two new ARIMA-ANN and ARIMA-Kalman hybrid methods for wind speed prediction", Applied Energy, vol.98, pp.415-424, 2012
- [101] De Aquino R.R.B., Gouveia H.T.V., Lira M.M.S., Ferreira A.A., Neto O.N., Carvalho Jr. M.A., "Wind forecasting and wind power generation: Looking for the best model based on artificial intelligence", Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2012
- [102] Zhao P., Wang J., Xia J., Dai Y., Sheng Y., Yue J., "Performance evaluation and accuracy enhancement of a day-ahead wind power forecasting system in China", Renewable Energy, vol.43, pp.234-241, 2012
- [103] Shi J., Guo J., Zheng S., "Evaluation of hybrid forecasting approaches for wind speed and power generation time series", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.16, pp.3471-3480, 2012
- [104] Bhaskar K., Singh S.N., "AWNN-Assisted wind power forecasting using feed-forward neural network", IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol.3, pp.306-315, 2012

- [105] Wang J., Heng J., Xiao L., Wang C., "Research and application of a combined model based on multi-objective optimization for multi-step ahead wind speed forecasting", *Energy*, vol.125, pp.591-613, 2017
- [106] Singh R., Sahay K.B., Srivastava S.A., "Short-term wind speed forecasting of Oak Park Weather Station by using different ANN algorithms", *Proceedings of the 2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia, ISGT ASIA 2015*, 2015
- [107] Fang D., Wang J., "A novel application of artificial neural network for wind speed estimation", *International Journal of Sustainable Energy*, vol.36, pp.415-429, 2017
- [108] Chang G.W., Lu H.J., Chang Y.R., Lee Y.D., "An improved neural network-based approach for short-term wind speed and power forecast", *Renewable Energy*, vol.105, pp.301-311, 2017
- [109] Filik Ü.B., Filik T., "Wind Speed Prediction Using Artificial Neural Networks Based on Multiple Local Measurements in Eskisehir", *Energy Procedia*, vol.107, pp.264-269, 2017
- [110] Fazelpour F., Tarashkar N., Rosen M.A., "Short-term wind speed forecasting using artificial neural networks for Tehran, Iran", *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol.7, pp.377-390, 2016
- [111] Tanaka I., Ohmori H., "Method evaluation for short-term wind speed prediction considering multi regions in Japan", *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol.28, pp.681-686, 2016
- [112] Jain V., Singh A., Chauhan V., Pandey A., "Analytical study of Wind power prediction system by using Feed Forward Neural Network", *2016 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication, ICCPEIC 2016*, pp.303-306, 2016
- [113] Aghajani A., Kazemzadeh R., Ebrahimi A., "A novel hybrid approach for predicting wind farm power production based on wavelet transform, hybrid neural networks and imperialist competitive algorithm", *Energy Conversion and Management*, vol.121, pp.232-240, 2016
- [114] Kaur T., Kumar S., Segal R., "Application of artificial neural network for short term wind speed forecasting", *2016 - Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy, PESTSE 2016*, 2016
- [115] Wan J., Liu J., Ren G., Guo Y., Yu D., Hu Q., "Day-Ahead Prediction of Wind Speed with Deep Feature Learning", *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, vol.30, 2016
- [116] Qin S., Wang J., Wu J., Zhao G., "A hybrid model based on smooth transition periodic autoregressive and Elman artificial neural network for wind speed forecasting of the Hebei region in China", *International Journal of Green Energy*, vol.13, pp.595-607, 2016

- 
- [117] Men Z., Yee E., Lien F.-S., Wen D., Chen Y., "Short-term wind speed and power forecasting using an ensemble of mixture density neural networks", *Renewable Energy*, vol.87, pp.203-211, 2016
- [118] Yousefi M., Hooshyar D., Yousefi M., Khaksar W., Sahari K.S.M., Alnaimi F.B.I., "An artificial neural network hybrid with wavelet transform for short-term wind speed forecasting: A preliminary case study", *Proceedings - 2015 International Conference on Science in Information Technology: Big Data Spectrum for Future Information Economy, ICSITech 2015*, pp.95-99, 2015
- [119] Khodayar M., Teshnehlab M., "Robust deep neural network for wind speed prediction", *4th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, CFIS 2015*, 2015
- [120] Ioakimidis C.S., Genikomsakis K.N., Dallas P.I., Lopez S., "Short-term wind speed forecasting model based on ANN with statistical feature parameters", *IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp.971-976, 2015
- [121] Prema V., Jnaneswar B.S., Badarish C.A., Ashok P.S., Agarwal S., Uma Rao K., "Novel training strategies for wavelet-neuro models for wind speed prediction", *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, vol.2016-January, 2016
- [122] Senthil Kumar P., Lopez D., "Forecasting of wind speed using feature selection and neural networks", *International Journal of Renewable Energy Research*, vol.6, pp.833-837, 2016
- [123] Lee J., Park G.-L., "Vote-based wind speed forecast scheme built upon different artificial neural network models", *International Journal of Control and Automation*, vol.9, pp.99-110, 2016
- [124] Kumar G., Malik H., "Generalized Regression Neural Network Based Wind Speed Prediction Model for Western Region of India", *Procedia Computer Science*, vol.93, pp.26-32, 2016
- [125] Finamore A.R., Galdi V., Calderaro V., Piccolo A., Conio G., Grasso S., "Artificial neural network application in wind forecasting: An one-hour-ahead wind speed prediction", *IET Conference Publications*, vol.2016, 2016
- [126] Troncoso A., Salcedo-Sanz S., Casanova-Mateo C., Riquelme J.C., Prieto L., "Local models-based regression trees for very short-term wind speed prediction", *Renewable Energy*, vol.81, pp.589-598, 2015
- [127] Wu X., Zhu Z., Su X., Fan S., Du Z., Chang Y., Zeng Q., "A study of single multiplicative neuron model with nonlinear filters for hourly wind speed prediction", *Energy*, vol.88, pp.194-201, 2015

- 
- [128] Ramasamy P., Chandel S.S., Yadav A.K., "Wind speed prediction in the mountainous region of India using an artificial neural network model", *Renewable Energy*, vol.80, pp.338-347, 2015
- [129] Ait Maatallah O., Achuthan A., Janoyan K., Marzocca P., "Recursive wind speed forecasting based on Hammerstein Auto-Regressive model", *Applied Energy*, vol.145, pp.191-197, 2015
- [130] Shukur O.B., Lee M.H., "Daily wind speed forecasting through hybrid KF-ANN model based on ARIMA", *Renewable Energy*, vol.76, pp.637-647, 2015
- [131] Bai G., Ding Y., Yildirim M.B., Ding Y.-H., "Short-term prediction models for wind speed and wind power", 2014 2nd International Conference on Systems and Informatics, ICSAI 2014, pp.180-185, 2015
- [132] Saberivahidaval M., Hajjam S., "Comparison between performances of different neural networks for wind speed forecasting in Payam airport, Iran", *Environmental Progress and Sustainable Energy*, vol.34, pp.1191-1196, 2015
- [133] Zhang Z., Zhang R., Fang D., Wang J., "Prediction study and application of wind power development based on filtering error threshold", *Environmental Progress and Sustainable Energy*, vol.34, pp.1536-1546, 2015
- [134] Koo J., Han G.D., Choi H.J., Shim J.H., "Wind-speed prediction and analysis based on geological and distance variables using an artificial neural network: A case study in South Korea", *Energy*, vol.93, pp.1296-1302, 2015
- [135] Pinto T., Ramos S., Sousa T.M., Vale Z., "Short-term wind speed forecasting using Support Vector Machines", *IEEE SSCI 2014: 2014 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence - CIDUE 2014: 2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence in Dynamic and Uncertain Environments, Proceedings*, pp.40-46, 2015
- [136] Huang S.-H., Mu K.-M., Lu P.-Y., Tsao C.-Y., Leu Y.-G., Chou L.-F., "The application of neural network in wind speed forecasting", *ICNSC 2015 - 2015 IEEE 12th International Conference on Networking, Sensing and Control*, pp.366-370, 2015
- [137] Kumar A.S., Cermak T., Misak S., "Short-term wind power plant predicting with Artificial Neural Network", *Proceedings of the 2015 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, EPE 2015*, pp.584-588, 2015
- [138] Gao Y., Xu A., Zhao Y., Liu B., Zhang L., Dong L., "Ultra-short-term wind power prediction based on chaos phase space reconstruction and NWP", *International Journal of Control and Automation*, vol.8, pp.325-336, 2015
- [139] Agrawal A., Sandhu K.S., "Comparative study of stochastic wind speed prediction models", *India International Conference on Power Electronics, IICPE*, vol.2015-May, 2015

- 
- [140] Najeebullah, Zameer A., Khan A., Javed S.G., "Machine Learning based short term wind power prediction using a hybrid learning model", *Computers and Electrical Engineering*, vol.45, pp.122-133, 2015
- [141] El Shahat A., Haddad R.J., Kalaani Y., "An artificial Neural Network model for wind energy estimation", *Conference Proceedings - IEEE SOUTHEASTCON*, vol.2015-June, 2015
- [142] Bonanno F., Capizzi G., Sciuto G.L., Napoli C., "Wavelet recurrent neural network with semi-parametric input data preprocessing for micro-wind power forecasting in integrated generation Systems", *5th International Conference on Clean Electrical Power: Renewable Energy Resources Impact, ICCEP 2015*, pp.602-609, 2015
- [143] Song Z., Jiang Y., Zhang Z., "Short-term wind speed forecasting with Markov-switching model", *Applied Energy*, vol.130, pp.103-112, 2014
- [144] Azad H.B., Mekhilef S., Ganapathy V.G., "Long-term wind speed forecasting and general pattern recognition using neural networks", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol.5, pp.546-553, 2014
- [145] Chen N., Qian Z., Nabney I.T., Meng X., "Wind power forecasts using gaussian processes and numerical weather prediction", *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.29, pp.656-665, 2014
- [146] Hernández-Travieso J.G., Travieso C.M., Alonso J.B., "Wind speed modelling for the estimation of the wind energy generation", *2014 International Work Conference on Bio-Inspired Intelligence: Intelligent Systems for Biodiversity Conservation, IWOB I 2014 - Proceedings*, pp.44-49, 2014
- [147] Gnana Sheela K., Deepa S.N., "Performance analysis of modeling framework for prediction in wind farms employing artificial neural networks", *Soft Computing*, vol.18, pp.607-615, 2014
- [148] Lodge A., Yu X.-H., "Short term wind speed prediction using artificial neural networks", *ICIST 2014 - Proceedings of 2014 4th IEEE International Conference on Information Science and Technology*, pp.539-542, 2014
- [149] Daraeepour A., Echeverri D.P., "Day-ahead wind speed prediction by a Neural Network-based model", *2014 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference, ISGT 2014*, 2014
- [150] Liu Y.H., Dong Z., "Ultra-short-term wind speed and power forecast based on dynamic selective neural network ensemble", *Applied Mechanics and Materials*, vol.568-570, pp.868-873, 2014

- [151] Rakesh Chandra D., Sailaja Kumari M., Sydulu M., Grimaccia F., Mussetta M., "Adaptive wavelet neural network based wind speed forecasting studies", *Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol.9, pp.1812-1821, 2014
- [152] Wang J., "A hybrid wavelet transform based short-term wind speed forecasting approach", *Scientific World Journal*, vol.2014, 2014
- [153] Wang J., Zhang W., Wang J., Han T., Kong L., "A novel hybrid approach for wind speed prediction", *Information Sciences*, vol.273, pp.304-318, 2014
- [154] Tomin N., Sidorov D., Kurbatsky V., Spiryaev V., Zhukov A., Leahy P., "A hybrid wind speed forecasting strategy based on Hilbert-Huang transform and machine learning algorithms", *POWERCON 2014 - 2014 International Conference on Power System Technology: Towards Green, Efficient and Smart Power System, Proceedings*, pp.2980-2986, 2014
- [155] Cheggaga N., "Improvements in wind speed forecasting using an online learning", *IREC 2014 - 5th International Renewable Energy Congress*, 2014
- [156] Huang X.-B., Mao P.-L., Dong X.-P., Tang H.-Y., "A hybrid model for short-term wind speed forecasting based on wavelet analysis and RBF neural network", *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol.238 LNEE, pp.173-181, 2014
- [157] Kishore G.R., Prema V., Rao K.U., "Multivariate wind power forecast using artificial neural network", *2014 IEEE Global Humanitarian Technology Conference - South Asia Satellite, GHTC-SAS 2014*, pp.159-163, 2014
- [158] Sreenivasa S.C., Agarwal S.K., Kumar R., "Short term wind forecasting using logistic regression driven hypothesis in artificial neural network", *Proceedings of 6th IEEE Power India International Conference, PIICON 2014*, 2014
- [159] Zhang W., Su Z., Zhang H., Zhao Y., Zhao Z., "Hybrid wind speed forecasting model study based on SSA and intelligent optimized algorithm", *Abstract and Applied Analysis*, vol.2014, 2014
- [160] Mandal P., Zareipour H., Rosehart W.D., "Forecasting aggregated wind power production of multiple wind farms using hybrid wavelet-PSO-NNs", *International Journal of Energy Research*, vol.38, pp.1654-1666, 2014
- [161] Gnana Sheela K., Deepa S.N., "Neural network based hybrid computing model for wind speed prediction", *Neurocomputing*, vol.122, pp.425-429, 2013
- [162] Cardenas-Barrera J.L., Castillo-Guerra E., Meng J., Chang L., "Multi-step-ahead, short-term prediction of wind speed using a fusion approach", *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol.8259 LNCS, pp.83-91, 2013



- 
- [163] Salgado P., Afonso P., "Hybrid fuzzy clustering neural networks to wind power generation forecasting", CINTI 2013 - 14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, Proceedings, pp.359-363, 2013
- [164] Deligiorgi D., Philippopoulos K., Kouroupetroglou G., "Artificial neural network based methodologies for the estimation of wind speed", Green Energy and Technology, vol.129, pp.247-266, 2013
- [165] Riahinia S., Abbaspour A., Fotuhi-Firuzabad M., Moeini-Aghtaie M., "A neural network-based model for wind farm output in probabilistic studies of power systems", 2013 21st Iranian Conference on Electrical Engineering, ICEE 2013, 2013
- [166] Gao S., Dong L., Liao X., Gao Y., "Very-short-term prediction of wind speed based on chaos phase space reconstruction and NWP", Chinese Control Conference, CCC, pp.8863-8867, 2013
- [167] Bilgili M., Sahin B., "Wind speed prediction of target station from reference stations data", Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, vol.35, pp.455-466, 2013
- [168] Peng H., Liu F., Yang X., "A hybrid strategy of short term wind power prediction", Renewable Energy, vol.50, pp.590-595, 2013
- [169] Cardenas-Barrera J.L., Meng J., Castillo-Guerra E., Chang L., "A neural network approach to multi-step-ahead, short-term wind speed forecasting", Proceedings - 2013 12th International Conference on Machine Learning and Applications, ICMLA 2013, vol.2, pp.243-248, 2013
- [170] Kitajima T., Yasuno T., Sori H., "Study on output prediction system of wind power generation using complex-valued neural network with multipoint GPV data", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, vol.8, pp.33-39, 2013
- [171] Liu Z., Gao W., Wan Y.-H., Muljadi E., "Wind power plant prediction by using neural networks", 2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2012, pp.3154-3160, 2012
- [172] Rizwan M., Saini S., Singh U., "Prediction of wind energy using intelligent approach", India International Conference on Power Electronics, IICPE, 2012
- [173] Tagliaferri F., Viola I.M., "Feedforward neural networks for very short term wind speed forecasting", RINA, Royal Institution of Naval Architects - International Conference on Marine and Offshore Renewable Energy 2012, pp.85-88, 2012

- 
- [174] Choudhary A.K., Upadhyay K.G., Tripathi M.M., "Soft computing applications in wind speed and power prediction for wind energy", 2012 IEEE 5th Power India Conference, PICONF 2012, 2012
- [175] Ileanoă I., Muntean M., Rîșteiu M., "Short term wind speed forecasting based on cluster analysis and ANN in wind farms", Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, vol.8411, 2012
- [176] Lee J., Park G.-L., Kim E.-H., "Development of wind speed prediction model in Jeju City", Communications in Computer and Information Science, vol.341 CCIS, pp.20-26, 2012
- [177] Gnana Sheela K., Deepa S.N., "An efficient computing model for renewable energy systems", 2012 International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies, ICCEET 2012, pp.409-412, 2012
- [178] Lee J., Park G.-L., Kim E.-H., Kim Y.-C., Lee I.-W., "Wind Speed Modeling based on Artificial Neural Networks for Jeju Area", International Journal of Control and Automation, vol.5, pp.81-88, 2012
- [179] Mahmoudi J., Jamil M., Balaghi H., "Short and mid-term wind power plants forecasting with ANN", 2012 2nd Iranian Conference on Renewable Energy and Distributed Generation, ICREDG 2012, pp.167-171, 2012
- [180] Eldali F.A., Hansen T.M., Suryanarayanan S., Chong E.K.P., "Employing ARIMA models to improve wind power forecasts: A case study in ERCOT", NAPS 2016 - 48th North American Power Symposium, Proceedings, 2016
- [181] Sharma S.K., Ghosh S., "Short-term wind speed forecasting: Application of linear and non-linear time series models", International Journal of Green Energy, vol.13, pp.1490-1500, 2016
- [182] Do D.-P.N., Lee Y., Choi J., "Hourly average wind speed simulation and forecast based on ARMA model in Jeju Island, Korea", Journal of Electrical Engineering and Technology, vol.11, pp.1548-1555, 2016
- [183] Zhao W., Wei Y.-M., Su Z., "One day ahead wind speed forecasting: A resampling-based approach", Applied Energy, vol.178, pp.886-901, 2016
- [184] Jamaludin A.R., Yusof F., Kane I.L., Norrulasikin S.M., "A comparative study between conventional ARMA and Fourier ARMA in modeling and forecasting wind speed data", AIP Conference Proceedings, vol.1750, 2016
- [185] Koivisto M., Seppänen J., Mellin I., Ekström J., Millar J., Mammarella I., Komppula M., Lehtonen M., "Wind speed modeling using a vector autoregressive process with a time-dependent intercept term", International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol.77, pp.91-99, 2016

- 
- [186] Lydia M., Suresh Kumar S., Immanuel Selvakumar A., Edwin Prem Kumar G., "Linear and non-linear autoregressive models for short-term wind speed forecasting", *Energy Conversion and Management*, vol.112, pp.115-124, 2016
- [187] Santamaría-Bonfil G., Reyes-Ballesteros A., Gershenson C., "Wind speed forecasting for wind farms: A method based on support vector regression", *Renewable Energy*, vol.85, pp.790-809, 2016
- [188] Dehghanpour K., Nehrir H., "Wind power forecasting: Comparing two statistical signal processing algorithms", *2015 North American Power Symposium, NAPS 2015*, 2015
- [189] Bizrah A., Almuahini M., "Modeling wind speed using probability distribution function, Markov and ARMA models", *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, vol.2015-September, 2015
- [190] Appice A., Prasilovic S., Lanza A., Malerba D., "Very short-term wind speed forecasting using spatio-temporal lazy learning", *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol.9356, pp.9-16, 2015
- [191] Perez-Mora N., Martinez-Moll V., Canals V., "Spanish renewable energy generation short-term forecast", *ISES Solar World Congress 2015, Conference Proceedings*, pp.216-227, 2015
- [192] Radziukynas V., Klementavicius A., "Short-term wind speed forecasting with ARIMA model", *2014 55th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON 2014*, pp.145-149, 2014
- [193] Zhou S., Yuan J., Song Z., Tang J., Kang L., "Wind signal forecasting based on System Identification Toolbox of MATLAB", *Proceedings of the 2013 3rd International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications, ISDEA 2013*, pp.1614-1617, 2013
- [194] Liu H., Shi J., Erdem E., "An integrated wind power forecasting methodology: Interval estimation of wind speed, operation probability of wind turbine, and conditional expected wind power output of a wind farm", *International Journal of Green Energy*, vol.10, pp.151-176, 2013
- [195] Tatinati S., Veluvolu K.C., "A hybrid approach for short-term forecasting of wind speed", *The Scientific World Journal*, vol.2013, 2013
- [196] Wang M.-D., Qiu Q.-R., Cui B.-W., "Short-term wind speed forecasting combined time series method and arch model", *Proceedings - International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, vol.3, pp.924-927, 2012

- [197] Yesilbudak M., Sagioglu S., Colak I., "A wind speed forecasting approach based on 2-dimensional input space", 2012 International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2012, 2012
- [198] Lopes V.V., Scholz T., Estanqueiro A., Novais A.Q., "On the use of Markov chain models for the analysis of wind power time-series", 2012 11th International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC 2012 - Conference Proceedings, pp.770-775, 2012
- [199] Jeon J., Taylor J.W., "Using conditional kernel density estimation for wind power density forecasting", *Journal of the American Statistical Association*, vol.107, pp.66-79, 2012
- [200] Jiang W., Yan Z., Feng D.-H., Hu Z., "Wind speed forecasting using autoregressive moving average/generalized autoregressive conditional heteroscedasticity model", *European Transactions on Electrical Power*, vol.22, pp.662-673, 2012
- [201] Jiang P., Wang Y., Wang J., "Short-term wind speed forecasting using a hybrid model", *Energy*, vol.119, pp.561-577, 2017
- [202] Van Der Walt C.M., Botha N., "A comparison of regression algorithms for wind speed forecasting at Alexander Bay", 2016 Pattern Recognition Association of South Africa and Robotics and Mechatronics International Conference, PRASA-RobMech 2016, 2016
- [203] Mao M., Ling J., Chang L., Hatziargyriou N.D., Zhang J., Ding Y., "A Novel Short-Term Wind Speed Prediction Based on MFEC", *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol.4, pp.1206-1216, 2016
- [204] Zhu Z., Zhou D., Fan Z., "Short term forecast of wind power generation based on SVM with pattern matching", 2016 IEEE International Energy Conference, ENERGYCON 2016, 2016
- [205] Shrivastava N.A., Lohia K., Panigrahi B.K., "A multiobjective framework for wind speed prediction interval forecasts", *Renewable Energy*, vol.87, pp.903-910, 2016
- [206] Li C., Huang Y., "A new study on speed prediction of wind by support vector machine and genetic algorithm", *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, vol.17, pp.33.1-33.5, 2016
- [207] Liu X., Kong X., Lee K.Y., "Wind Speed Prediction with high efficiency convex optimization Support Vector Machine", *Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA)*, vol.2015-March, pp.908-915, 2015
- [208] Wang Y., Wang J., Wei X., "A hybrid wind speed forecasting model based on phase space reconstruction theory and Markov model: A case study of wind farms in northwest China", *Energy*, vol.91, pp.556-572, 2015

- 
- [209] Zhang C., Wei H., Liu T., Zhu T., Zhang K., "Short-term wind speed forecasting using a multi-model ensemble", *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol.9377, pp.398-406, 2015
- [210] Zhang C., Wei H., Zhu T., Zhang K., Liu T., "Comparison of two multi-step ahead forecasting mechanisms for wind speed based on machine learning models", *Chinese Control Conference, CCC*, vol.2015-September, pp.8183-8187, 2015
- [211] Lahouar A., Ben Hadj Slama J., "Wind speed and direction prediction for wind farms using support vector regression", *IREC 2014 - 5th International Renewable Energy Congress*, 2014
- [212] Sun G., Chen Y., Wei Z., Li X., Cheung K.W., "Day-ahead wind speed forecasting using relevance vector machine", *Journal of Applied Mathematics*, vol.2014, 2014
- [213] Hu Z., Liu Q., Tian Y., Liao Y., "A short-term wind speed forecasting model based on improved QPSO optimizing LSSVM", *POWERCON 2014 - 2014 International Conference on Power System Technology: Towards Green, Efficient and Smart Power System, Proceedings*, pp.2806-2811, 2014
- [214] Cheng X., Guo P., "Short-term wind speed prediction based on support vector machine of fuzzy information granulation", *2013 25th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2013*, pp.1918-1923, 2013
- [215] Wei Z., Yuan-Chang D., Zhen W., "Wind power prediction with LSSVM model based on data stratification pretreatment", *ICMREE 2013 - Proceedings: 2013 International Conference on Materials for Renewable Energy and Environment*, vol.1, pp.360-363, 2013
- [216] Mao M., Chen S., Cao Y., Zhao Y., Chang L., "Performance comparison of models for fast short-term wind speed prediction", *2013 4th IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems, PEDG 2013 - Conference Proceedings*, 2013
- [217] Wang J., Sun J., Zhang H., "Short-term wind power forecasting based on support vector machine", *2013 5th International Conference on Power Electronics Systems and Applications, PESA 2013*, 2013
- [218] Zhang X., Chen C., Wang W., Dai Y., "The intelligent methods used in prediction the wind speed and output power of wind farm", *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*, 2012
- [219] Mathaba T., Xia X., Zhang J., "Short-term wind power prediction using least-square support vector machines", *IEEE Power and Energy Society Conference and Exposition in Africa: Intelligent Grid Integration of Renewable Energy Resources, PowerAfrica 2012*, 2012

- 
- [220] Han X., Chen F., Cao H., Li X., Zhang X., "Short-term wind speed prediction based on LS-SVM", Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), pp.3200-3204, 2012
- [221] Wang Q., Lai K.K., Niu D., Zhang Q., "A multivariate wind power forecasting model based on LS-SVM", Proceedings of the 2012 5th International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization, CSO 2012, pp.127-131, 2012
- [222] Wang X.-L., Chen Q.-C., "Short-term wind speed forecast of wind farm based on V-system and LSSVM", Conference Proceedings - 2012 IEEE 7th International Power Electronics and Motion Control Conference - ECCE Asia, IPEMC 2012, vol.3, pp.2113-2117, 2012
- [223] Liu Y., Zeng D.-L., Liu J.-Z., Liu J.-W., Guo H.-Q., Liu Y.-M., "Short-term wind speed forecast based on wavelet packet transform and LS-SVM", Proceedings of the 2012 24th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2012, pp.2811-2814, 2012
- [224] Wang X., LI H., "Multiscale prediction of wind speed and output power for the wind farm", Journal of Control Theory and Applications, vol.10, pp.251-258, 2012
- [225] Jia G., Li D., Yao L., Zhao P., "An improved artificial bee colony-BP neural network algorithm in the short-term wind speed prediction", Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), vol.2016-September, pp.2252-2255, 2016
- [226] Wang S., Zhang N., Wu L., Wang Y., "Wind speed forecasting based on the hybrid ensemble empirical mode decomposition and GA-BP neural network method", Renewable Energy, vol.94, pp.629-636, 2016
- [227] Kiranvishnu K., Sireesha K., Ramprabhakar J., "Comparative study of wind speed forecasting techniques", 2016 - Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy, PESTSE 2016, 2016
- [228] Heng J., Wang C., Zhao X., Xiao L., "Research and application based on adaptive boosting strategy and modified CGFPA algorithm: A case study for wind speed forecasting", Sustainability (Switzerland), vol.8, 2016
- [229] Duran M.A., Filik U.B., "Short-Term wind speed prediction using several artificial neural network approaches in Eskisehir", INISTA 2015 - 2015 International Symposium on Innovations in Intelligent SysTems and Applications, Proceedings, 2015
- [230] Olaofe Z.O., "A 5-day wind speed & power forecasts using a layer recurrent neural network (LRNN)", Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol.6, pp.1-24, 2014
- [231] Babu N., Arulmozhivarman P., "Dynamic neural network based very short-term wind speed forecasting", Wind Engineering, vol.38, pp.121-128, 2014

- 
- [232] Ren C., An N., Wang J., Li L., Hu B., Shang D., "Optimal parameters selection for BP neural network based on particle swarm optimization: A case study of wind speed forecasting", *Knowledge-Based Systems*, vol.56, pp.226-239, 2014
- [233] Cancelliere R., Gosso A., Grosso A., "Neural networks for wind power generation forecasting: A case study", 2013 10th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, ICNSC 2013, pp.666-671, 2013
- [234] Lu J., Yang R., Zhang C., "Study of short-term wind power prediction based on advanced BP neural network model", *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol.207 LNEE, pp.169-177, 2013
- [235] Wang D., Wang F., Wang X., "Multi-step-ahead combination forecasting of wind speed using artificial neural networks", *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol.5, pp.5443-5449, 2013
- [236] Zheng H., Tian J., Wang F., Li J., "Short-term wind speed combination prediction model of neural network and time series", *Advanced Materials Research*, vol.608-609, pp.764-769, 2013
- [237] Li M., Pan Y., "Wind power prediction based on BPNN and LSA", *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*, 2012
- [238] Ramesh Babu N., Arulmozhivarman P., "Forecasting of wind speed using artificial neural networks", *International Review on Modelling and Simulations*, vol.5, pp.2276-2280, 2012
- [239] Haque A.U., Mandal P., Kaye M.E., Meng J., Chang L., Senjyu T., "A new strategy for predicting short-term wind speed using soft computing models", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.16, pp.4563-4573, 2012
- [240] Gnana Sheela K., Deepa S.N., "An intelligent computing model for wind speed prediction in renewable energy systems", *Procedia Engineering*, vol.30, pp.380-385, 2012
- [241] Zang H., Liang Z., Guo M., Qian Z., Wei Z., Sun G., "Short-term wind speed forecasting based on an EEMD-CAPSO-RVM model", *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*, vol.2016-December, pp.439-443, 2016
- [242] Barbosa C.E.M., Vasconcelos G.C., "Cuckoo search optimization for short term wind energy forecasting", 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2016, pp.1765-1772, 2016
- [243] Kong X., Liu X., Shi R., Lee K.Y., "Wind speed prediction using reduced support vector machines with feature selection", *Neurocomputing*, vol.169, pp.449-456, 2015

- [244] Dowell J., Weiss S., "Short-term wind prediction using an ensemble of particle swarm optimised FIR filters", IET Conference Publications, vol.2013, 2013
- [245] Rahmani R., Yusof R., Seyedmahmoudian M., Mekhilef S., "Hybrid technique of ant colony and particle swarm optimization for short term wind energy forecasting", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.123, pp.163-170, 2013
- [246] Zhang W., Wu J., Wang J., Zhao W., Shen L., "Performance analysis of four modified approaches for wind speed forecasting", Applied Energy, vol.99, pp.324-333, 2012
- [247] Zhao J., Guo Z.-H., Su Z.-Y., Zhao Z.-Y., Xiao X., Liu F., "An improved multi-step forecasting model based on WRF ensembles and creative fuzzy systems for wind speed", Applied Energy, vol.162, pp.808-826, 2016
- [248] Errouissi R., Cardenas-Barrera J., Meng J., Castillo-Guerra E., Gong X., Chang L., "Bootstrap prediction interval estimation for wind speed forecasting", 2015 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition, ECCE 2015, pp.1919-1924, 2015
- [249] Agrawal A., Sandhu K.S., "Parametrical needs for wind speed prediction using ANN", International Conference on Computing, Communication and Automation, ICCCA 2015, pp.202-207, 2015
- [250] Lynch C., OMahony M.J., Scully T., "Simplified method to derive the Kalman Filter covariance matrices to predict wind speeds from a NWP model", Energy Procedia, vol.62, pp.676-685, 2014
- [251] Sile T., Bekere L., Cepite-Frisfelde D., Sennikovs J., Bethers U., "Verification of numerical weather prediction model results for energy applications in Latvia", Energy Procedia, vol.59, pp.213-220, 2014
- [252] Dong L., Ren L., Gao S., Gao Y., Liao X., "Studies on wind farms ultra-short term NWP wind speed correction methods", 2013 25th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2013, pp.1576-1579, 2013
- [253] Al-Yahyai S., Gastli A., Charabi Y., "Probabilistic wind speed forecast for wind power prediction using pseudo ensemble approach", PECon 2012 - 2012 IEEE International Conference on Power and Energy, pp.127-132, 2012
- [254] Hu Q., Zhang S., Yu M., Xie Z., "Short-term wind speed or power forecasting with heteroscedastic support vector regression", IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol.7, pp.241-249, 2016
- [255] Wang D., Ni Y., Chen B., Cao Z., Tian Y., Zhao Y., "Wind speed and direction predictions based on multidimensional support vector regression with data-dependent kernel", Lecture



- Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), vol.9483, pp.427-436, 2015
- [256] Heinermann J., Kramer O., "Short-term wind power prediction with combination of speed and power time series", Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), vol.9324, pp.100-110, 2015
- [257] Petković D., Shamshirband S., Anuar N.B., Saboohi H., Abdul Wahab A.W., Protić M., Zalnezhad E., Mirhashemi S.M.A., "An appraisal of wind speed distribution prediction by soft computing methodologies: A comparative study", Energy Conversion and Management, vol.84, pp.133-139, 2014
- [258] Zhang H., Chen L., Qu Y., Zhao G., Guo Z., "Support vector regression based on grid-search method for short-term wind power forecasting", Journal of Applied Mathematics, vol.2014, 2014
- [259] Tian Y., Liu Q., Hu Z., Liao Y., "Wind speed forecasting based on Time series - Adaptive Kalman filtering algorithm", FENDT 2014 - Proceedings, 2014 IEEE Far East Forum on Nondestructive Evaluation/Testing: New Technology and Application, Increasingly Perfect NDT/E, pp.315-319, 2014
- [260] Ishikawa T., Namerikawa T., "Short-term wind power prediction for wind turbine via kalman filter based on JIT modeling", Proceedings of the SICE Annual Conference, vol.198, pp.86-96, 2013
- [261] Ribeiro F., Salgado P., Barreira J., "Wind Power Forecasting to Minimize the Effects of Overproduction", Communications in Computer and Information Science, vol.311, pp.254-263, 2012
- [262] Babazadeh H., Gao W., Cheng L., Lin J., "An hour ahead wind speed prediction by Kalman filter", PEMWA 2012 - 2012 IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications, 2012
- [263] Mishra S.P., Dash P.K., "Wind speed prediction using an efficient Polynomial kernel based RELM algorithm", 2016 IEEE Annual India Conference, INDICON 2016, 2016
- [264] Liu H., Tian H.-Q., Li Y.-F., "Four wind speed multi-step forecasting models using extreme learning machines and signal decomposing algorithms", Energy Conversion and Management, vol.100, pp.16-22, 2015
- [265] Guo L., Wang C., Gao P., Wang Y., Zhong Y., Huang M., "An online short-term wind power prediction considering wind speed correction and error interval evaluation", Proceedings -

- 2014 International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering, ISEEE 2014, vol.1, pp.28-32, 2014
- [266] Saavedra-Moreno B., Salcedo-Sanz S., Carro-Calvo L., Gascón-Moreno J., Jiménez-Fernández S., Prieto L., "Very fast training neural-computation techniques for real measure-correlate-predict wind operations in wind farms", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol.116, pp.49-60, 2013
- [267] Liu F., Li R., Li Y., Cao Y., Panasetsky D., Sidorov D., "Short-term wind power forecasting based on T-S fuzzy model", *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*, vol.2016-December, pp.414-418, 2016
- [268] An S., Shi H., Hu Q., Li X., Dang J., "Fuzzy rough regression with application to wind speed prediction", *Information Sciences*, vol.282, pp.388-400, 2014
- [269] Iizaka T., Jintsugawa T., Kondo H., Nakanishi Y., Fukuyama Y., Mori H., "A wind power forecasting method and its confidence interval estimation", *Electrical Engineering in Japan (English translation of Denki Gakkai Ronbunshi)*, vol.186, pp.52-60, 2014
- [270] Taslimi Renani E., Elias M.F.M., Rahim N.A., "Using data-driven approach for wind power prediction: A comparative study", *Energy Conversion and Management*, vol.118, pp.193-203, 2016
- [271] Salim O.M., Zohdy M.A., Dorrah H.T., Kamel A.M., "Adaptive neuro-fuzzy short-term wind-speed forecasting for Egypt's East-Coast", *International Journal of Sustainable Energy*, vol.33, pp.16-34, 2014
- [272] Feng C., Cui M., Hodge B.-M., Zhang J., "A data-driven multi-model methodology with deep feature selection for short-term wind forecasting", *Applied Energy*, vol.190, pp.1245-1257, 2017
- [273] Yang M., Yang Q., "Wind power forecast based on cloud model", *2016 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems, PMAPS 2016 - Proceedings*, 2016
- [274] Wan J., Ren G., Liu J., Hu Q., Yu D., "Ultra-short-term wind speed prediction based on multi-scale predictability analysis", *Cluster Computing*, vol.19, pp.741-755, 2016
- [275] López E., Valle C., Allende H., "Recurrent networks for wind speed forecasting", *IET Seminar Digest*, vol.2016, 2016
- [276] Zhang C.-Y., Chen C.L.P., Gan M., Chen L., "Predictive Deep Boltzmann Machine for Multiperiod Wind Speed Forecasting", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol.6, pp.1416-1425, 2015

- 
- [277] Jiang Y., Chen X., Yu K., Liao Y., "Combined approach for short-term wind power prediction: A case study of the east coast of China", IEEE Power and Energy Society General Meeting, vol.2015-September, 2015
- [278] He M., Vittal V., Zhang J., "A sparsified vector autoregressive model for short-term wind farm power forecasting", IEEE Power and Energy Society General Meeting, vol.2015-September, 2015
- [279] Senthil Kumar P., Lopez D., "Feature selection used for wind speed forecasting with data driven approaches", Journal of Engineering Science and Technology Review, vol.8, pp.124-127, 2015
- [280] Putri R.I., Priyadi A., Purnomo M.H., "Stochastic Petri Nets for very short-term wind speed modeling", 2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications, CIVEMSA 2015, 2015
- [281] Hu Q., Su P., Yu D., Liu J., "Pattern-based wind speed prediction based on generalized principal component analysis", IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol.5, pp.866-874, 2014
- [282] Orpia C.B., Mapa D.S., Orpia J.C., "Time series analysis using vector autoregressive model of wind speeds in bangui bay and selected weather variables in Laoag City, Philippines", Journal of Environmental Management and Tourism, vol.5, pp.53-63, 2014
- [283] Martin D., Zhang W., Chan J., Lindley J., "A comparison of Gumbel and Weibull statistical models to estimate wind speed for wind power generation", 2014 Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2014 - Proceedings, 2014
- [284] Skittides C., Früh W.-G., "Wind forecasting using Principal Component Analysis", Renewable Energy, vol.69, pp.365-374, 2014
- [285] Yan J., Liu Y., Han S., Gu C., Li F., "A robust probabilistic wind power forecasting method considering wind scenarios", IET Conference Publications, vol.2014, 2014
- [286] Arjun N.N., Prema V., Kumar D.K., Prashanth P., Preekshit V.S., Rao K.U., "Multivariate regression models for prediction of wind speed", Proceedings - 2014 International Conference on Data Science and Engineering, ICDSE 2014, pp.171-176, 2014
- [287] Dinler A., "A new low-correlation MCP (measure-correlate-predict) method for wind energy forecasting", Energy, vol.63, pp.152-160, 2013
- [288] Graff M., Pena R., Medina A., "Wind speed forecasting using genetic programming", 2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2013, pp.408-415, 2013

- [289] Lee S.W., Kok B.C., Goh K.C., Goh H.H., "Wind prediction in Malaysia", Lecture Notes in Electrical Engineering, vol.239 LNEE, pp.135-147, 2013
- [290] Bai X., Han S., Wang H., Yin W., Sun R., Zhang T., Liu J., Lei W., "Improvement of short-term forecast for wind speed", Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, SOLI 2012, pp.451-455, 2012
- [291] Gan M., Ding M., Huang Y.-Z., Dong X.-P., "The effect of different state sizes on Mycielski approach for wind speed prediction", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.109, pp.89-93, 2012
- [292] Kou P., Gao F., "Sparse heteroscedastic Gaussian process for shortterm wind speed forecasting", Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2012