

# IDENTIFICACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS DE ENERGÍA EÓLICA A TRAVÉS DE ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA: CASO DE ESTUDIO BOYACÁ - COLOMBIA

M.Sc. Renata C. Siabato B., Universidad Nacional de Colombia, rcsiabatob@unal.edu.co  
 Dr. Carlos J. Franco C., Universidad Nacional de Colombia, cjfranco@unal.edu.co

## Resumen

El departamento de Boyacá posee una condición favorable en recursos renovables de energía asociados al viento, contando con velocidades de vientos iguales o superiores a 5 m/s en varios meses del año y dada su localización y accesibilidad al Sistema Interconectado Nacional - SIN, representa una opción idónea para la implementación de nuevas Fuentes No Convencionales De Energía Renovable - FNCR que contribuyan a mejorar los niveles de confiabilidad del sistema de energía actual en el país. En éste artículo se hace un análisis estadístico de los datos de velocidad y dirección del viento registrado por 26 estaciones meteorológicas en el departamento de Boyacá, Colombia. Mediante el procesamiento de dichos datos y la evaluación del comportamiento de la velocidad media del viento se identificaron ocho zonas del departamento en las cuales se tiene un potencial del recurso para generación eólica.

## Metodología

La metodología de investigación consiste en efectuar un análisis temporal y espacial del recurso eólico disponible en el departamento de Boyacá-Colombia para su uso energético, considerando el potencial de generación de energía eólica como variable dependiente estimada a partir de los registros de la velocidad del viento como variable independiente, permitiendo tener un conocimiento acerca de la disponibilidad del recurso energético que aporta el viento y la identificación áreas de interés para generación. La metodología se desarrolla en cuatro fases como se describe a continuación:

Tabla I

METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE EMPLAZAMIENTOS DE ENERGÍA EÓLICA EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

Fase 1. Selección del área de interés	Selección y caracterización del área de estudio	•Revisión de documentación técnica
	Recopilación de información primaria y secundaria	•Registros de velocidad y dirección del viento •Mapas del área de interés
	Pre Procesamiento de registros de velocidad y dirección del viento	•Detección y filtrado de datos anómalos
	Caracterización de la red de estaciones meteorológicas	
Fase 2. Evaluación y caracterización del comportamiento del viento	Evaluación y caracterización del comportamiento del viento en superficie mediante estadística descriptiva	•Variación de ciclo diario •Variación del ciclo anual. •Ciclo anual del ciclo diario. •Variación del ciclo interanual. •Distribución de frecuencias de la velocidad del viento. •Parámetros de ajuste de distribución de Weibull. •Dirección del Viento - Rosas de Viento
	Espacialización de parámetros mediante el método IDW - Inverse Distance Weighting.	•Interpolación espacial de la velocidad media del viento •Interpolación espacial de los parámetros
	Variación del viento con la altura	•Clasificación de la rugosidad del área de interés •Extrapolación de la velocidad del viento a la altura deseada
	Evaluación y caracterización del comportamiento del viento a la altura deseada	
	Identificación de zonas con potencial eólico.	
Fase 3. Estimación del potencial de generación de energía eólica	Análisis de los aerogeneradores existentes en el mercado que se adapten a las características del viento encontradas	•Definición velocidad de referencia en áreas de aprovechamiento •Definición de tipo de aerogenerador (International Standard IEC 61400-1) •Elección tipo de aerogenerador (Curva de Potencia)
	Priorización de zonas con potencial eólico.	
	Cálculo de energía producida	•Densidad de potencia •Estimación de la energía media mediante Método Estático •Estimación Horas Equivalentes y Factor de Carga •Estimación de la energía media de acuerdo a la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) en la Resolución 167 de 2017
Fase 4. Planteamiento y evaluación de proyectos de generación eólica	Composición y características de los parques	
	Localización del proyecto	•Plantamiento esquema básico del proyecto •Descripción general de infraestructura •Estimativos de energía media y firme
	Evaluación Ambiental de los parques	•Revisión de restricciones ambientales •Revisión compatibilidad Áreas protegidas por Parques Nacionales Naturales de Colombia •Revisión compatibilidad usos del suelo •Estimativo de disminución de Emisiones de GEI
	Evaluación Económica de los parques	•Costos de Inversión •Costos de operación •Indicadores financieros de rentabilidad

## Resultados

Del análisis del comportamiento del viento del departamento se puede concluir que principalmente el ciclo diurno presenta su pico de velocidad media entre las 9:00 a.m. y las 5:00 p.m. en la mayor parte del departamento. Durante los meses de principio de año y los de mitad de año los patrones de intensidad son más fuertes, presentando mayores velocidades en los meses de febrero, julio y agosto, con un régimen bimodal. La dirección predominante del viento en las estaciones analizadas corresponde al sentido Este.

Para la caracterización del viento en el departamento de Boyacá a una altura de 100 metros se realizó el ajuste de distribución de Weibull a los registros de viento obtenidos en superficie y se extrapolaron a la altura de interés obteniendo de ésta manera una variación del parámetro de forma  $k$  no muy grande, entre 1,78 y 3,76, lo que se entiende con un comportamiento regular y estable del viento en el departamento, ya que el parámetro  $k$  da cuenta del rango de variación de la velocidad en un periodo de tiempo. El parámetro de escala  $c$  varía entre 1,66 m/s y 10,15 m/s representando un rango más amplio de variación debido a las condiciones propias del entorno de cada estación.

El estudio permitió identificar de acuerdo a las velocidades medias y al comportamiento del viento que las estaciones que se pueden evaluar como áreas de potencial de generación corresponden a Aeropuerto Palanquero, Aeropuerto Yopal, Andalucía, Aquitania, Gachaneca, Nevado del Cocuy, UPTC y Villa Carmen. Se identificaron oportunidades de desarrollo eólico mediante el planteamiento de cuatro parques eólicos con capacidad total de 52,5 MW en el departamento de Boyacá, correspondientes al Parque Eólico “Samacá I”, localizado en inmediaciones de la estación Gachaneca en el municipio de Samacá, “Samacá II” en el mismo municipio en cercanía a la estación Villa Carme, “Tundama” en Duitama, evaluado de acuerdo a los registros de la estación Andalucía y finalmente “Sugamuxi” localizado en Aquitania, al lado de la estación del mismo nombre. Las características principales de los proyectos planteados se resumen a continuación en la Tabla II:

Tabla II  
CARACTERÍSTICAS DE LOS PRINCIPALES PROYECTOS CON POTENCIAL DE ENERGÍA EÓLICA IDENTIFICADOS EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACÁ

Característica	Samacá I	Samacá II	Tundama	Sugamuxi
Velocidad media a 100 m (m/s)*	9,24	7,15	5,15	5,97
Potencia Unitaria (MW)	2,5	2,5	2,5	2,5
Número de aerogeneradores	8	8	3	2
Potencia Nominal Instalada (MW)	20	20	7,5	5
Energía Neta Producida Anual (MWh/año)	97312	75619	13775	13314
Energía Firme (MWh/año)	10512	10512	3942	2628
Horas Anuales Equivalentes (h)	4866	3780	1837	2663
Factor de Carga	0,56	0,43	0,21	0,30

Se obtuvieron factores de carga por encima del factor de carga promedio global ponderado para la energía eólica en tierra del año 2017 que está alrededor del 29% para tres de los cuatro proyectos. Si se implementaran los proyectos planteados en el presente estudio para reemplazar la misma energía generada por otras tecnologías en el SIN se estaría reduciendo la emisión de CO<sub>2</sub> en 73407 tCO<sub>2</sub>/año y respecto a la generación de una planta a carbón se reducirían 214220 tCO<sub>2</sub>/año.

Se estimó la rentabilidad que poseen los proyectos planteados, obteniendo así que para los proyectos Samacá I y Samacá II la tasa interna de retorno es superior a la tasa de descuento considerada, el VPN es positivo y la relación Beneficio/Costo es superior a 1, indicando que los proyectos se vislumbran promisorios y se justifica desarrollar evaluaciones más detalladas para definir con mayor precisión las características del emplazamiento. Para los proyectos Tundama y Sugamuxi con un VPN negativo y una TIR inferior a la tasa de descuento, no se recomienda llevar a cabo la inversión, bajo las mismas condiciones que los demás proyectos.

## Conclusiones

Una vez se analizaron aspectos técnicos, ambientales y económicos, se encuentra que el departamento de Boyacá posee una condición favorable en recursos renovables de energía asociados al viento, contando con velocidades de vientos iguales o superiores a 5 m/s en varios meses del año y dada su localización y accesibilidad al SIN, representa una opción idónea para la implementación de nuevas Fuentes No Convencionales De Energía Renovable – FNCER, se identificaron ocho áreas con vientos para aprovechamiento de generación eléctrica, de las cuales cuatro áreas se consideran propicias mediante el planteamiento de cuatro parques eólicos con capacidad total instalada de 52,5 MW mediante 21 aerogeneradores de potencia nominal de 2,5 MW que producirían una energía neta de 200020 MWh/año con factores de carga superiores al promedio global ponderado del 2017 para la energía eólica “onshore”. En la evaluación de los proyectos se obtienen indicadores financieros positivos que hacen atractivos los proyectos bajo ciertas condiciones de mercado.