

**Energía eólica en Colombia: panorama y perspectivas bajo la triple cuenta de resultados**

Joseph Camilo Sosapanta Salas

Trabajo de Grado Presentado como Requisito Parcial para el Título de:

**Magíster en Administración de Organizaciones**

Directora:

Mayte Beltrán Ventero, MBA

Línea de Investigación:

Desarrollo Sostenible y Competitividad

Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD

Escuela Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios – ECACEN

Maestría en Administración de Organizaciones

Diciembre 2020

## Resumen

Esta monografía describe el panorama actual y las perspectivas futuras de la energía eólica en Colombia, con marco en la triple cuenta de resultados que contempla las dimensiones: ambiental, social y económica. Además, se identifican factores y estrategias que inciden en el desarrollo de negocios sostenibles y que generen valor desde los puntos de vista ambiental, social y económico en los proyectos de energía eólica en Colombia. Mediante la metodología cualitativa exploratoria de fuentes documentales se examina cómo este contexto de la triple cuenta de resultados promueve la minimización del impacto sobre el entorno, busca integrar a todos los colaboradores de las organizaciones y adicionalmente incentiva la innovación empresarial, incrementando la rentabilidad y competitividad de las empresas que participan en el mercado de la energía eólica. Los resultados de este documento marcan un escenario de referencia para los proyectos venideros sostenibles de energía eólica en Colombia, desde el enfoque de la triple cuenta de resultados.

**Palabras clave:** energía eólica, fuentes no convencionales de energía renovable, medio ambiente, sostenibilidad, triple cuenta de resultados.

## **Abstract**

This monograph describes the current outlook and future perspectives for wind power in Colombia, based on the triple bottom line that contemplates the dimensions: environmental, social and economic. In addition, factors and strategies are identified that influence the development of sustainable businesses and that generate value from the environmental, social and economic viewpoints in wind power projects in Colombia. Through the qualitative and exploratory methodology of documentary sources, it is examined how this triple bottom line context promotes the minimization of the impact on the environment, seeks to integrate all the collaborators of the organizations and additionally encourages business innovation, increasing the profitability and competitiveness of the companies participating in the wind power market. The results of this document set a reference scenario for future sustainable wind power projects in Colombia, from the triple bottom line approach.

**Keywords:** wind power, unconventional sources of renewable energy, environment, sustainability, triple bottom line.

## Tabla de Contenido

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Tabla de Contenido.....	4
Lista de tablas .....	6
Lista de figuras.....	7
Introducción .....	8
Planteamiento del problema.....	11
Justificación .....	13
Objetivos.....	14
Objetivo general: .....	14
Objetivos específicos: .....	14
Metodología .....	15
Energía eólica.....	16
Antecedentes y generalidades .....	16
Comparación contexto mundial y latinoamericano.....	23
Panorama actual energía eólica en Colombia .....	25
Perspectivas futuras energía eólica en Colombia.....	29
Marco legal energía eólica en Colombia.....	34
Triple cuenta de resultados .....	37
Objetivos de desarrollo sostenible .....	38
Dimensión ambiental de la sostenibilidad .....	40
Protocolos y acuerdos ambientales internacionales .....	40
Impactos ambientales .....	43
Impacto visual .....	43
Impacto sonoro .....	44
Impacto en las aves.....	44
Utilización del área.....	45
Impacto interferencia de ondas electromagnéticas.....	45
Certificación ambiental .....	45

Propuesta estrategia mitigación siniestralidad fauna .....	46
Dimensión social de la sostenibilidad.....	47
Comunidades Wayúu .....	47
Modelo Jepírachi.....	48
Modelo danés .....	49
Propuesta estrategia modelo social .....	50
Dimensión económica de la sostenibilidad.....	52
Mercado de energía mayorista en Colombia.....	53
Costos de la energía eólica.....	53
Incentivos tributarios.....	54
Deducción especial del impuesto sobre la renta.....	55
Depreciación acelerada.....	55
Exclusión del IVA en la adquisición de bienes y servicios.....	55
Exención de gravámenes arancelarios.....	55
Subastas energía eléctrica a largo plazo.....	56
Subasta CLPE No. 01 (febrero de 2019).....	56
Subasta CLPE No. 02 (octubre de 2019).....	57
Propuesta estrategia gestión financiera .....	59
Lecciones aprendidas .....	60
Conclusiones .....	61
Referencias bibliográficas.....	63

**Lista de tablas**

Tabla 1. Distribución regional generación de energía. ....	26
Tabla 2. Costos de inversión de proyectos de generación. ....	28
Tabla 3. Proyectos eólicos proyectados en Colombia. ....	30
Tabla 4. Proyectos eólicos adjudicados. ....	58

## Lista de figuras

Figura 1. Tipos de energías renovables y no renovables. ....	17
Figura 2. Matriz energética mundial 2019. ....	18
Figura 3. Evolución energía eólica. ....	19
Figura 4. Partes turbina eólica. ....	20
Figura 5. Capacidad instalada energía eólica [GW] 1980 – 2019. ....	22
Figura 6. Porcentaje participación en el mercado mayores fabricantes turbinas eólicas 2019. ....	22
Figura 7. Capacidad instalada energía eólica por país [MW] 2019. ....	23
Figura 8. Capacidad instalada Colombia [MW] 2019 y 2030. ....	27
Figura 9. Parque eólico Jepírachi. ....	29
Figura 10. Proyectos eólicos proyectados en Colombia. ....	32
Figura 11. Mapa velocidad del viento promedio anual Colombia. ....	33
Figura 12. Leyes promoción energía eólica en Colombia. ....	34
Figura 13. Marco normativo Ley 1715 de 2014. ....	35
Figura 14. Triple cuenta de resultados. ....	37
Figura 15. Objetivos de desarrollo sostenible. ....	39
Figura 16. Principales cumbres climáticas. ....	41
Figura 17. Acuerdo de París. ....	42
Figura 18. Ciclo PHVA dimensión ambiental. ....	46
Figura 19. Ciclo PHVA dimensión social. ....	51
Figura 20. Costo de instalación [USD/kW] 2010 – 2019. ....	54
Figura 21. Ciclo PHVA dimensión económica. ....	59

## Introducción

El incremento gradual de la temperatura terrestre como consecuencia de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pone en riesgo el desarrollo sostenible de los países. Estas emisiones de CO<sub>2</sub> son debidas principalmente al uso de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural) en actividades como transporte, industria y generación de energía eléctrica (Rao, 2019).

La generación de energía eléctrica está sufriendo grandes cambios, como consecuencia de nuevas tecnologías emergentes y mayor conciencia ambiental que promueven el uso de Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCR), como la eólica, solar, biomasa, entre otras. Pese a esto, en las próximas décadas el carbón seguirá siendo la mayor fuente de energía en todo mundo; sin embargo, las naciones donde se ha alcanzado el pico de producción de combustibles fósiles, están buscando alternativas para transitar hacia una economía de energía balanceada y diversificada. Esta economía incluirá la participación de diferentes fuentes de energía limpia y reducirá el consumo de combustibles fósiles (Ortiz, 2012).

Los parques eólicos son una agrupación de turbinas eólicas que generan electricidad mediante el uso de la energía contenida en el flujo del viento. El viento es una fuente de energía limpia cuyo impacto ambiental es sustancialmente menor comparado con las fuentes de generación no renovables. La energía eólica se caracteriza por ser una de las fuentes más rentables de energía renovable, cuya incorporación en los sistemas eléctricos ha estado creciendo más rápido de lo pronosticado en más de 90 países alrededor del mundo. Esto debido a su bajo costo marginal comparado con otras fuentes de energía renovables y a las continuas mejoras en la construcción de turbinas eólicas, que las hacen más eficientes y económicas, incrementado así su proliferación e implementación (Rao, 2019).



Con esta monografía se busca describir el panorama y las perspectivas de la energía eólica en Colombia, desde el enfoque de la triple cuenta de resultados, donde se consideran las dimensiones ambiental, social y económica (Cortés, 2017). El capítulo 1 presenta los antecedentes de la energía eólica, los hitos más importantes que han permitido su desarrollo. También se muestra el panorama y las perspectivas de los proyectos de energía eólica en Colombia que se espera se ejecuten durante la década 2020 – 2030 y se localicen en el departamento de La Guajira por las condiciones de riqueza en el recurso eólico. Por otra parte, se compara el desarrollo de energía eólica a nivel mundial y latinoamericano con el estado actual de este tipo de fuente de energía en Colombia. Finalmente, se indica el marco legal con las leyes, resoluciones y decretos que regulan el tema de energía eólica en Colombia.

El capítulo 2 describe desde el punto de vista conceptual la triple cuenta de resultados, revisando el propósito de cada dimensión: ambiental, social y económica, y el rol que cumple cada una en el caso de la energía eólica. Además, se muestran los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a los cuales le apunta la triple cuenta de resultados en cada dimensión.

El capítulo 3 indica la dimensión ambiental de la triple cuenta de resultados, partiendo de la exposición de los protocolos y acuerdos internacionales ambientales más importantes. Luego se describen los impactos asociados a la energía eólica. Finalmente, se exponen los mecanismos de certificación ambiental.

El capítulo 4 muestra la dimensión social de la triple cuenta de resultados, empezando con la mención de las comunidades indígenas de La Guajira. Se describen el modelo social del proyecto eólico Jepírachi desarrollado por las Empresas Públicas de Medellín (EPM) y el modelo danés. Adicionalmente, se propone una estrategia de modelo social que combina los dos modelos anteriores.

El capítulo 5 presenta la dimensión económica de la triple cuenta de resultados, comenzando con la evolución en la última década de los costos de la energía eólica. Posteriormente, se muestran los incentivos tributarios promovidos por la Ley 1715 de 2014. Además, se indican los resultados de los procesos de subastas de energía realizadas en el año 2019. Como tema transversal a los capítulos 3, 4 y 5 se describen las estrategias para incentivar el desarrollo de proyectos de energía eólica en Colombia. Finalmente, se presentan las lecciones aprendidas en el desarrollo de esta monografía y las conclusiones.

## Planteamiento del problema

En términos generales, el enfoque tradicional de los proyectos de generación de energía eléctrica se basa en generar rentabilidad económica para las empresas, dejando de lado aspectos como el componente social y ambiental. Al respecto, la triple cuenta de resultados busca integrar las dimensiones: ambiental, social y económica buscando la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos. De esta manera, se busca indagar un escenario donde los futuros proyectos de energía eólica en Colombia se puedan plasmar desde el enfoque de la triple cuenta de resultados (Almeida, 2019).

Actualmente, la energía eólica suple únicamente el 0,1% de la demanda eléctrica nacional. Esta exigua participación de la energía eólica se debe a la falta de iniciativas por parte de las organizaciones estatales y privadas, ocasionada por un contexto normativo donde no son claros los mecanismos de ingreso de la energía eólica en el mercado eléctrico. Al respecto, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) que es la entidad encargada de planear y financiar el desarrollo de los recursos energéticos en la expansión de las redes eléctricas, ha propuesto un horizonte de crecimiento de la energía eólica, donde el objetivo es suplir el 11,0% de la demanda eléctrica nacional a finales de la década 2020 – 2030. De concretarse estos proyectos de energía eólica en Colombia, pueden llegar a evitar alrededor de 100 millones de toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> durante la vida útil de los proyectos (UPME, 2017).

Desde la dimensión ambiental, se tienen ventajas referentes a la diversificación de la matriz energética disminuyendo el impacto ambiental en la generación de energía eléctrica que en el caso de las fuentes hidráulicas producen grandes inundaciones, alteraciones de ecosistemas y biodiversidad. Además, se mitigan los efectos del fenómeno del Niño (época de sequía), que puede llegar a generar incrementos de hasta un 4% en las tarifas de los usuarios como

consecuencia del aumento del precio en bolsa de la energía eléctrica. Por lo tanto, utilizar diferentes fuentes de energía hace que el suministro de la energía sea más resiliente ante fenómenos naturales (Pinilla, 2008). La dimensión social describe la relación entre las comunidades propietarias de los predios en La Guajira donde se construyen los parques eólicos y las empresas inversoras. Por otra parte, la dimensión económica considera los costos de la inversión, operación y mantenimiento de los proyectos, y también los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014. Las subastas de energías renovables realizadas en el año 2019 dejaron un precio promedio de la energía eléctrica de 95,65 \$/kWh que está \$50 por debajo del costo de generación promedio actual, con lo cual se prevén potenciales reducciones en las tarifas pagadas por los colombianos (UPME, 2019).

Adicionalmente, la ejecución de estos proyectos trae consigo beneficios económicos para las comunidades locales, que de no concretarse se perdería esta oportunidad de desarrollo humano y económico en La Guajira. Por ejemplo, con el proyecto Jepírachi, dentro del plan social de EPM se realizaron inversiones totales de USD 816.504 para beneficio de las comunidades en La Guajira (Empresas Públicas de Medellín, 2010).

Bajo este contexto se ha planteado la siguiente pregunta de investigación para el desarrollo de este trabajo: ¿Cuál es el panorama y las perspectivas de la energía eólica en Colombia bajo la triple cuenta de resultados?

## **Justificación**

Colombia tiene un potencial eólico de 50 GW que podría suplir tres veces la demanda eléctrica actual (González, 2019); sin embargo, está siendo desaprovechado debido a factores que limitan su planteamiento y ejecución como los legales, sociales, culturales, económicos y tecnológicos. El precio ofertado en las subastas por parte de las empresas generadoras de proyectos eólicos, demuestra que las FNCER son competitivas con las fuentes de generación tradicionales; adicionalmente tienen el factor agregado de beneficiar a la sociedad a través de la generación de oportunidades laborales y el cuidado del medio ambiente mediante el uso de energías limpias (UPME, 2019).

Esta monografía hace parte de la línea de investigación Desarrollo Sostenible y Competitividad, sublínea Desarrollo Endógeno de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y realiza la presentación del panorama de los recursos eólicos y de las organizaciones que ejecutan los proyectos, tomando como referencia la triple cuenta de resultados. Este es un punto de referencia para las organizaciones colombianas con el fin de adquirir un conocimiento más a fondo en temas de energías renovables y así tener la posibilidad de competir con empresas multinacionales en la puja por la adjudicación de nuevos proyectos de energía eólica (Almeida, 2019)

## Objetivos

### Objetivo general:

- Analizar el panorama y las perspectivas de la energía eólica en Colombia bajo la triple cuenta de resultados.

### Objetivos específicos:

- Comparar el panorama actual de los proyectos de energía eólica en Colombia en el contexto latinoamericano.
- Identificar los factores de influencia del desarrollo eólico en las dimensiones de la triple cuenta de resultados: ambiental, social y económica.
- Describir estrategias para incentivar la implementación de proyectos de energía eólica en Colombia a partir de la triple cuenta de resultados.

## **Metodología**

Esta monografía se desarrolla con una metodología cualitativa exploratoria de fuentes documentales para recopilar la información referente al panorama y las perspectivas de la energía eólica en Colombia. Mediante este proceso exploratorio se responden el objetivo general y los dos primeros objetivos específicos a lo largo del cuerpo del documento. Por otra parte, para dar respuesta al tercer objetivo específico se propone el ciclo Planificar – Hacer – Verificar – Actuar (PHVA) como instrumento en la definición de las estrategias que incentivan la implementación de energía eólica y mejoramiento continuo de este tipo de proyectos en las dimensiones ambiental, social y económica (Hernández, 2015).

## **Energía eólica**

La sociedad moderna se caracteriza por una demanda creciente de energía eléctrica de una forma segura, confiable y económica, la cual debe ser satisfecha con los sistemas de generación actualmente instalados y considerando suficientes sistemas de generación de respaldo para fortalecer las redes eléctricas. Una de las opciones para estos sistemas de generación es la energía eólica.

En primer lugar, en este capítulo se introducen los antecedentes y generalidades asociados con la energía eólica, que le han permitido evolucionar y establecerse como una de las tecnologías que emplean fuentes renovables con mayor proyección de crecimiento. Se presenta el panorama y las perspectivas de la energía eólica en Colombia y la comparación de su participación en la matriz energética actual y a finales de la década 2020 – 2030. Finalmente, se expone el marco legal que regula la inclusión de la energía eólica en Colombia.

### **Antecedentes y generalidades**

Los sistemas de generación de energía eléctrica emplean recursos o fuentes disponibles en la naturaleza, los cuales se dividen en renovables y no renovables, indicadas en la Figura 1. Las energías renovables como la solar, hidráulica, eólica, biomasa, mareomotriz y geotérmica se caracterizan por su habilidad de regenerarse por medios naturales, además disminuyen la dependencia de suministros externos, presentan pocos residuos y tienen una baja influencia sobre el entorno. Por otra parte, las energías no renovables como el petróleo, gas natural, uranio y carbón se caracterizan por disminuir sus reservas en la medida que se consumen y esto a su vez genera alta volatilidad en sus precios (Rao, 2019).



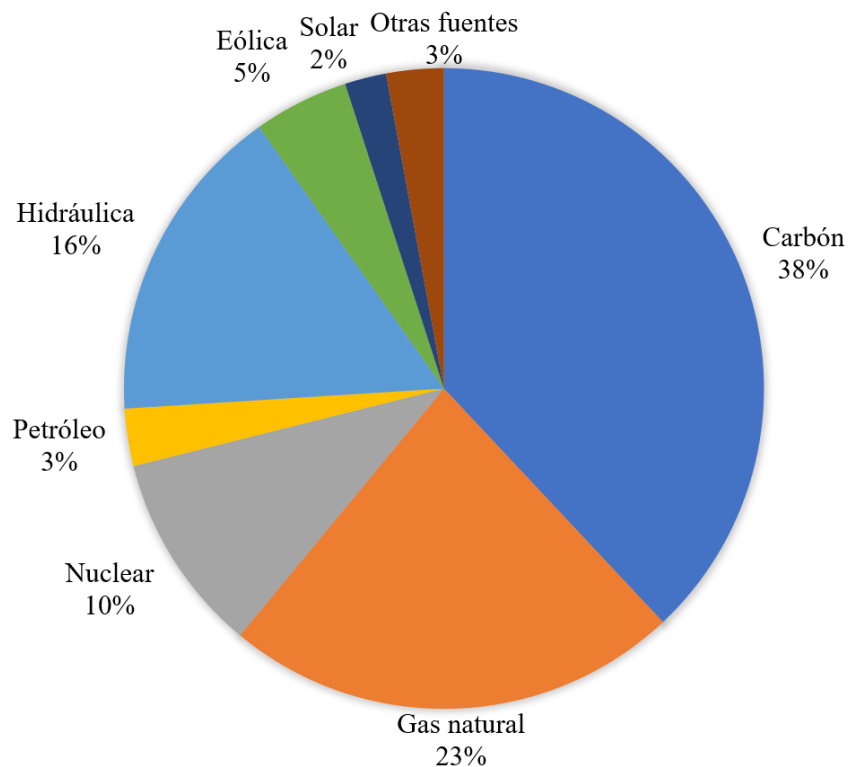
**Figura 1.** Tipos de energías renovables y no renovables.



Fuente: Freepik (2020).

**Nota.** Las fuentes solar, hidráulica, eólica, biomasa, mareomotriz y geotérmica son energías renovables, y las fuentes petróleo, nuclear, gas natural y carbón son energías no renovables.

Además, son responsables de aproximadamente el 60% del total de emisiones de CO<sub>2</sub>, las cuales ponen en riesgo la preservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible (Rao, 2019). Las fuentes de energía renovables y no renovables tienen una participación en la matriz energética mundial como se muestra en la Figura 2.

**Figura 2.** Matriz energética mundial 2019.

Fuente: adaptado de IEA (2019).

Esta monografía se enfoca en la descripción del panorama y perspectivas de la energía eólica, la cual es la energía extraída del movimiento del viento, que comprende las corrientes de aire producidas por diferencias de presión en la atmósfera y por el movimiento terrestre (Almeida, 2019).

El uso de viento como fuente de energía tuvo sus primeras aplicaciones en los molinos de viento, que realizaban actividades como moler granos o bombear agua. Para finales del siglo XIX se tenían en Europa alrededor de 30.000 molinos de viento en funcionamiento. En 1887 se creó el primer prototipo que combinaba el poder mecánico de los molinos de viento con los generadores eléctricos, dando como resultado las turbinas eólicas. Estas turbinas son la componente principal en la energía eólica, puesto que se encargan de convertir la energía

cinética del viento en energía eléctrica. En la Figura 3 se muestra la evolución de las tecnologías empleadas en la energía eólica (Owens, 2019).

**Figura 3.** Evolución energía eólica.

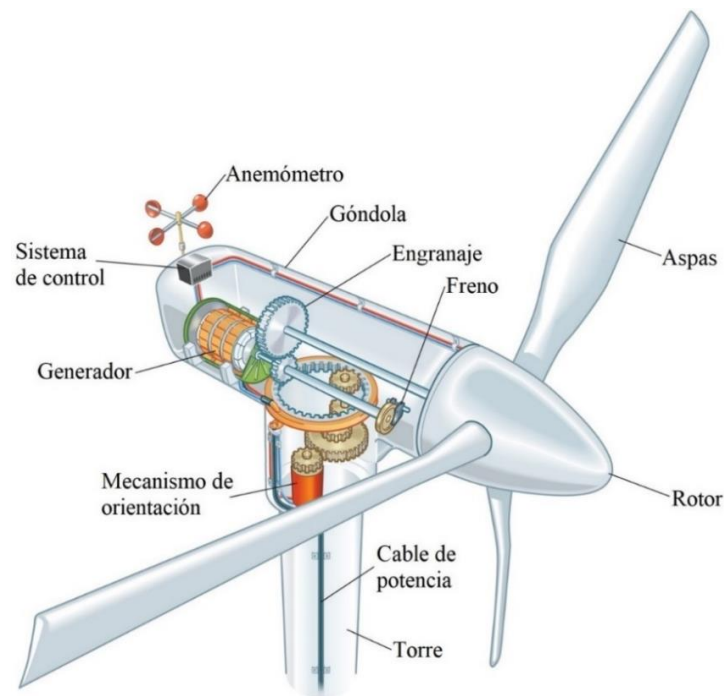


Fuente: adaptado de Oliveira (2013).

Durante el siglo XX se experimentaron diferentes modelos y prototipos de turbinas eólicas. Estas iniciativas tuvieron como consenso final el diseño con la mejor relación costo-

beneficio, que es la turbina eólica horizontal de tres aspas como se conoce en la actualidad y que se ilustra en la Figura 4 (Oliveira, 2013).

**Figura 4.** Partes turbina eólica.



Fuente: adaptado de Badurek (2011).

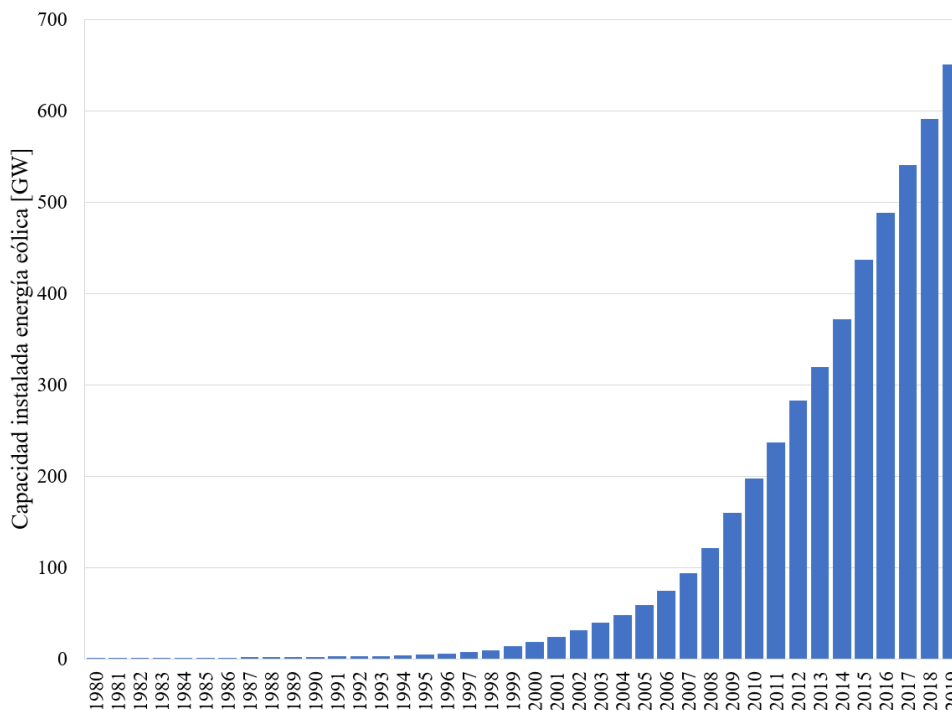
El funcionamiento de la turbina eólica se explica partiendo del flujo de aire actuando sobre las aspas del rotor y transfiriendo la energía cinética del aire al eje del rotor donde se convierte en energía mecánica; después el proceso concluye con la conversión de la energía mecánica en eléctrica por la acción del generador. Este proceso de conversión energética involucra las principales componentes de la turbina eólica, las cuales en gran medida influyen el desempeño dinámico de las turbinas eólicas. La góndola corresponde a la carcasa dentro de la cual se montan el engranaje y el generador con todos sus sistemas de control; por lo tanto, la función principal de la góndola es proveer protección a estas componentes (Badurek, 2011).

Por otra parte, el engranaje está a cargo de acoplar y transferir la energía mecánica desde el eje de baja velocidad al eje de alta velocidad, ya que la velocidad de operación de las aspas del rotor es mucho menor que el eje del generador. Las turbinas eólicas sin el engranaje necesitarían generadores con características especiales de fabricación, puesto que el generador tendría que operar a la misma velocidad que las aspas del rotor. El mecanismo de orientación le permite a la góndola disponerse en la dirección del viento y manipular la orientación de las aspas variando la cantidad de potencia extraída del viento. El anemómetro y la veleta se encargan de medir la velocidad y la dirección del viento, respectivamente. La torre es el soporte de la turbina eólica y mientras más alta permite obtener mayores velocidades de viento. Finalmente, el cable de potencia lleva la energía eléctrica desde cada turbina de un parque eólico hasta la subestación transformadora que finalmente las conecta con la red eléctrica (Oliveira, 2013).

No obstante, la energía eólica no tuvo un uso comercial hasta alrededor de 1980, teniendo a Dinamarca como precursor y tomando como punto de inflexión el incremento en el precio del petróleo de 3 USD a 12 USD por parte de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) en 1973, dando lugar a la crisis del petróleo y forzando a los países occidentales a tomar conciencia de su dependencia económica en los combustibles fósiles. A partir de ahí y hasta la actualidad la capacidad instalada de energía eólica a nivel mundial ha aumentado exponencialmente como se indica en la Figura 5, con un crecimiento anual promedio de 15,2% en la última década (Oliveira, 2013).

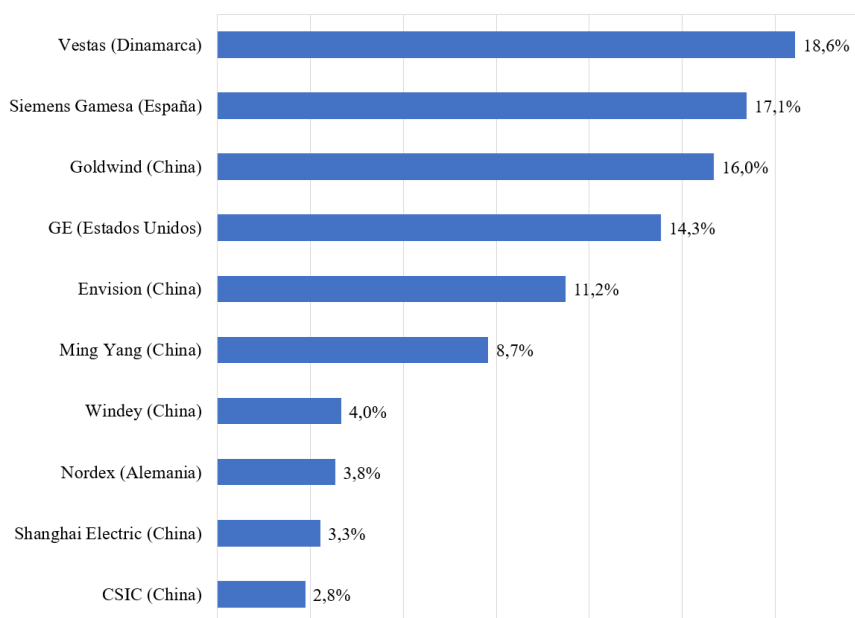
Así, esta búsqueda de nuevas alternativas en la generación de electricidad ha abierto un mercado para nuevas empresas en la fabricación de turbinas eólicas. Los diez mayores fabricantes de turbinas eólicas se muestran en la Figura 6.

**Figura 5.** Capacidad instalada energía eólica [GW] 1980 – 2019.



Fuente: adaptado de Pitteloud (2019).

**Figura 6.** Porcentaje participación en el mercado mayores fabricantes turbinas eólicas 2019.

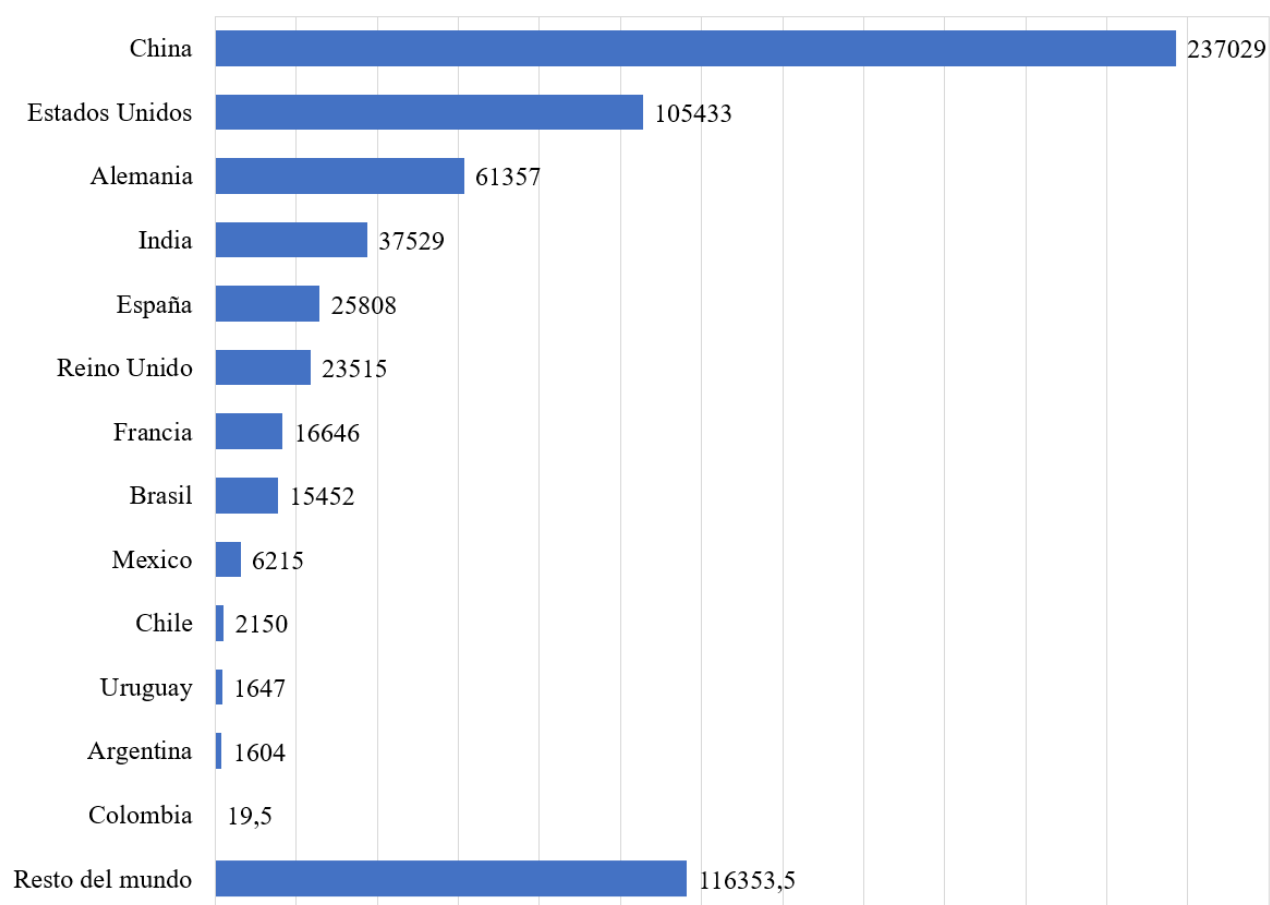


Fuente: adaptado de Roca (2020).

### Comparación contexto mundial y latinoamericano

En la Figura 7 se muestra un comparativo de la energía eólica instalada en la actualidad en los países líderes en esta tecnología a nivel mundial y latinoamericano. A nivel mundial los países con mayor capacidad de infraestructura eólica son China, Estados Unidos y Alemania; pese a esto, la mayor parte de la demanda energética en estos países se suple con fuentes no renovables de energía (Pitteloud, 2019).

**Figura 7.** Capacidad instalada energía eólica por país [MW] 2019.



Fuente: adaptado de Pitteloud (2019).

En el contexto latinoamericano, aproximadamente el 90% de la energía eólica instalada se construyó en la década 2010 – 2020, lo cual indica el rezago general de la región, que se explica debido a la baja cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en la generación de electricidad, puesto que en la mayoría de los países latinoamericanos al igual que en Colombia, la tecnología más usada es la hidráulica (Ruiz, 2017).

En Latinoamérica, los países líderes en energía eólica instalada son Brasil, México y Chile. Estos países ya han realizado procesos de subastas para incrementar la participación de las FNCER, creado de esta manera un escenario favorable para los inversionistas y que se soporta en leyes, mecanismos públicos e incentivos de financiación (Ruiz, 2017).

Brasil es un país líder en energía eólica, no sólo en el contexto latinoamericano sino también a nivel mundial. La proliferación de la energía eólica se fundamenta en la implementación de dos mecanismos: la liberalización del mercado de energía y el Programa de Incentivos para Fuentes de Electricidad Alternativas (PROINFA) decretado en el 2002, que se complementó con las subastas iniciadas en el 2009; no obstante, durante el 2016 se cancelaron varias subastas por la crisis que atravesó el país. Por otra parte, Brasil ha sido seleccionado por varios fabricantes como centro de producción de turbinas eólicas, lo cual impacta la generación de empleo (Ruiz, 2017).

México ha promovido la Ley de Transición Energética mediante la cual se han desarrollado subastas que han permitido incrementar la cantidad de empresas ofertantes de energía y por lo tanto la disminución del costo de la energía eléctrica. Esto produjo una reducción del 30% en el precio de la energía entre la primera y segunda subasta. Adicionalmente la meta es generar el 35% de la demanda mexicana mediante FNCER según la Ley General de Cambio Climático y la Ley de Aprovechamiento de las Energías Renovables (Ruiz, 2017).



Chile ha buscado liberarse de la dependencia del suministro de gas natural desde Argentina, a partir de una propuesta a largo plazo de diversificación de la matriz energética donde las FNCER son una componente indispensable; no obstante, no cuentan con reglamentaciones referentes a incentivos fiscales en proyectos de renovables. Chile es uno de los países con mayor dependencia de combustibles fósiles en Latinoamérica en la generación de electricidad, para lo cual se ha implantado un impuesto al uso del carbón (Ruiz, 2017).

### **Panorama actual energía eólica en Colombia**

La generación de energía eléctrica en Colombia se encuentra distribuida a nivel regional (departamental) y por tipo de fuente de energía renovable o no renovable como se muestra en la Tabla 1.

La riqueza de Colombia en recursos hídricos ha conllevado que actualmente el 69,2% de la generación de energía se realice con fuentes hidráulicas. Esta dependencia tan alta genera ineficiencias en la definición del costo del kW/h principalmente cuando se presentan épocas de sequía, como por ejemplo el fenómeno del Niño, lo cual disminuye las reservas en las centrales hidroeléctricas. Este escenario hace vulnerable y poco resiliente el sistema eléctrico colombiano, para lo cual la solución consiste en diversificar la matriz energética, es decir, emplear distintas fuentes de energía primaria. Para mitigar este escenario negativo, se proponen los proyectos basados en FNCER para diversificar de la matriz energética y extender la oferta de energía eléctrica mediante opciones que emplean fuentes renovables. (UPME, 2017).

**Tabla 1.** Distribución regional generación de energía.

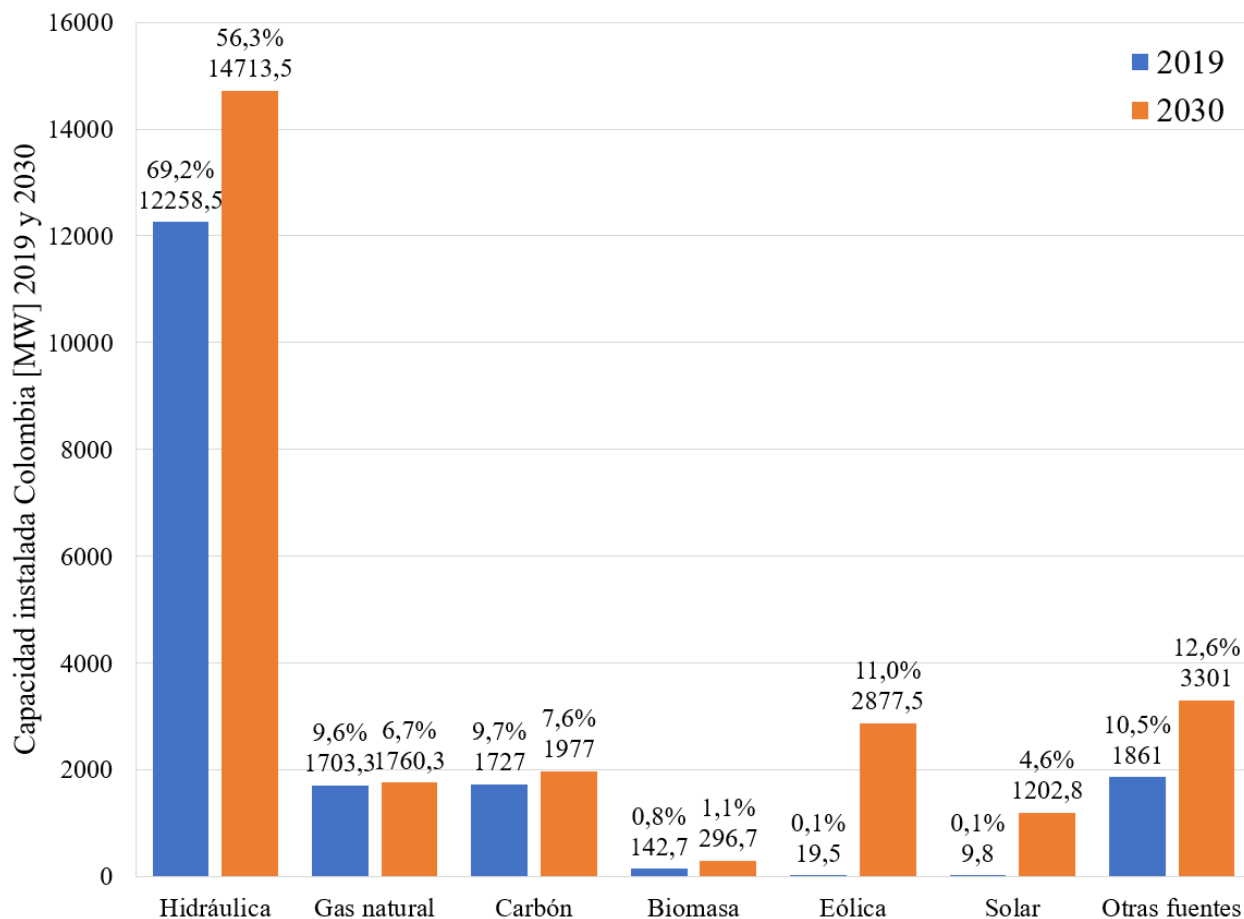
Región \ Fuente	Hidráulica [MW]	Gas natural [MW]	Carbón [MW]	Biomasa [MW]	Eólica [MW]	Solar [MW]	Otras fuentes [MW]	Potencia total [MW]	Porcentaje [%]
Antioquia	4633,8		9,4				353,0	4996,2	28,2
Atlántico		1242,1					287,0	1529,1	8,6
Bolívar		109,8					496,0	605,8	3,4
Boyacá	1019,7	9,7	332,0					1361,4	7,7
Caldas	606,0						44,0	650,0	3,7
Casanare		167,5						167,5	0,9
Cauca	352,7		17,0	29,9				399,6	2,3
Córdoba	338,0		437,0					775,0	4,4
Cundinamarca	2186,1	2,4	224,0					2412,5	13,6
Huila	947,1							947,1	5,3
La Guajira			286,0		19,5			305,5	1,7
Norte de Santander			328,0					328,0	1,9
Santander	838,0	167,0					264,0	1269,0	7,2
Tolima	204,2							204,2	1,2
Valle del Cauca	1072,3	1,0	9,9	76,3		9,8	413,0	1582,3	8,9
Otros departamentos	60,6	3,8	83,7	36,5			4,0	188,6	1,1

Fuente: adaptado de UPME (2017).

**Nota.** En esta tabla se muestran los aportes de cada región (departamento) por fuente al total de la generación de energía en Colombia.

Uno de los objetivos trazados por la UPME es suplir el 11,0% de la demanda eléctrica nacional con energía eólica para finales de la década 2020 – 2030, como se indica en la Figura 8 (UPME, 2017).

**Figura 8.** Capacidad instalada Colombia [MW] 2019 y 2030.



Fuente: adaptado de UPME (2017).

La inclusión de las FNCER va a depender en gran medida de los costos de inversión de los proyectos y la rentabilidad que se obtenga. En ese sentido, las FNCER han demostrado que en la actualidad son competitivas con los demás tipos de energía desde el enfoque económico, como se indica en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Costos de inversión de proyectos de generación.

<b>Tecnología</b>	<b>Promedio [USD/kW]</b>	<b>Máximo [USD/kW]</b>	<b>Mínimo [USD/kW]</b>
Hidráulica	2102	2341	1515
Gas natural	1151	1213	1090
Carbón	1870	2472	1425
Biomasa	1381	1714	1125
Eólica	1663	1750	1112
Solar	1107	1417	838

Fuente: adaptado de UPME (2017).

**Nota.** En esta tabla se presentan los costos de inversión promedio, máximo y mínimo necesarios para ejecutar los proyectos de las diferentes fuentes de energía renovables y no renovables.

Actualmente, en Colombia la energía eólica suple únicamente el 0,1% de la demanda eléctrica nacional. Este aporte lo hace el parque eólico Jepírachi, el cual está ubicado cerca de Puerto Bolívar y el Cabo de la Vela en el municipio de Uribia (La Guajira).

Este parque eólico es propiedad de EPM y es el primero y por el momento único parque en operación de este tipo en el país. El parque eólico Jepírachi fue construido entre los años 2002 y 2003, e inició su operación comercial en abril del 2004 y tuvo una inversión de USD 27,8 millones. Desde su entrada en operación hasta 2019 Jepirachi evitó 434.000 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> (Empresas Públicas de Medellín, 2010).

Este parque tiene 15 turbinas eólicas marca Nordex N60, cada una con una capacidad de 1,3 MW c/u, para una capacidad total del parque de 19,5 MW. Las turbinas eólicas se encuentran distribuidas en 2 filas de 7 y 8 turbinas con una separación entre filas de 1000 metros y una separación entre turbinas de 180 metros. El diámetro del rotor de las turbinas y la altura de la

torre tienen 60 metros. El parque eólico Jepírachi se muestra en la Figura 9 (Empresas Públicas de Medellín, 2010).

**Figura 9.** Parque eólico Jepírachi.



Fuente: adaptado de Empresas Públicas de Medellín (2010).

### **Perspectivas futuras energía eólica en Colombia**

En particular, la energía eólica ha presentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas según la Figura 5 y se espera que esa tendencia se extienda en países como Colombia. Para este propósito, en Colombia actualmente se encuentran en formulación 57 proyectos de parques eólicos, los cuales son llevados a cabo por 13 organizaciones multinacionales y 5 organizaciones locales, indicados en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Proyectos eólicos proyectados en Colombia.

<b>Parque eólico</b>	<b>Turbinas</b>	<b>Empresa</b>	<b>País</b>
Werepet	16	Acquaire	Colombia
Alupa 1n	16		
Alupa 4n	16		
Alupa 5n	16		
Alupa 6n	16	Alupar	Brasil
Alupa 7n	16		
Antena Satsapa	16		
Antena Zukaramana	16		
Camelia	28		
Camelia I	28	Empresa de Energía del Pacífico	Colombia
Camelia II	29		
Acacia 2	28		
La Manita	16	Colgeólica	Colombia
Parque eólico Kumarka	16	Desarrollos eólicos cuatro vías	Alemania
P-Sarrut-1	16		
P-Jokormahana	16	Desarrollos Eólicos de Uribe	Alemania
Youlepa	16		
Epm Eo400t	133	Empresas Públicas de Medellín	Colombia
Epm Eo300m	96		
Epm Eo200i Ipapure	67		
Kuisa	62		
Windpechi	62		
Urraichi-Chemeski	50		
Florguajira	33		
Castillete	33	Enel Green Power	Italia
Warrutumana	33		
Watchuali	50		
Patomana	62		
Enramada I	33		
Enramada III	33		

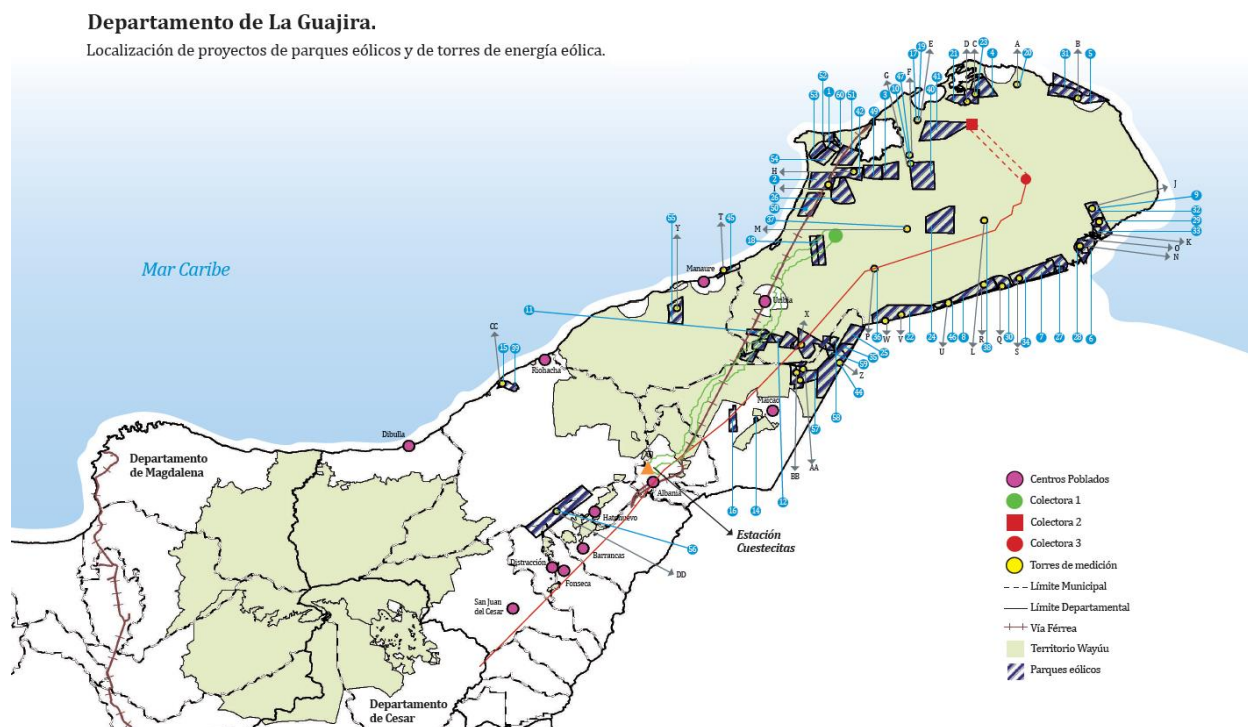
<b>Parque eólico</b>	<b>Turbinas</b>	<b>Empresa</b>	<b>País</b>
Torre Kanas	33	Enel Green Power	Italia
P6	50	Enviva Energy Martifer Renewables	Rumania
P7 (torre M)	50		
P8 (torre L)	50		
El Ahumado	16	Guajira Eólica I	España
Parque Eólico Davidivi	50	Guajira Eólica II	España
Eólico Parashi	50		
Parque Rutkain	50	Guajira Eólica La Vela	España
Parque Trupillo	50		
Parque Guajira II	114	Isagén	Canadá
Parque y torre de medición Zona 1	33		
Uyatpana	33		
La Loma	33		
Guajira III	33		
Irraipa	66	Jemeiwaa Ka'I	Estados Unidos
Carrizal	130		
Casa Eléctrica	120		
Parque Jotomana	58		
Apotolorro	66		
Apotolorro II	58		
Eólico Musichi	64	Musichi	España
Brittos	48	Sowitec Energía de Colombia	Alemania
Beta	150	EDP Renováveis	Portugal
Alpha	65		
Beta 3	32		
Beta 4	32		
Jouktai	16	Wayúu S. A.	Colombia

Fuente: adaptado de González (2019).

**Nota.** En esta tabla se indican los proyectos eólicos en formulación, la cantidad de turbinas a instalarse en los parques eólicos, la empresa desarrolladora del proyecto y su país de origen.

La ubicación planeada de estos 57 proyectos sería en el departamento de La Guajira, como se ilustra en la Figura 10.

**Figura 10.** Proyectos eólicos proyectados en Colombia.



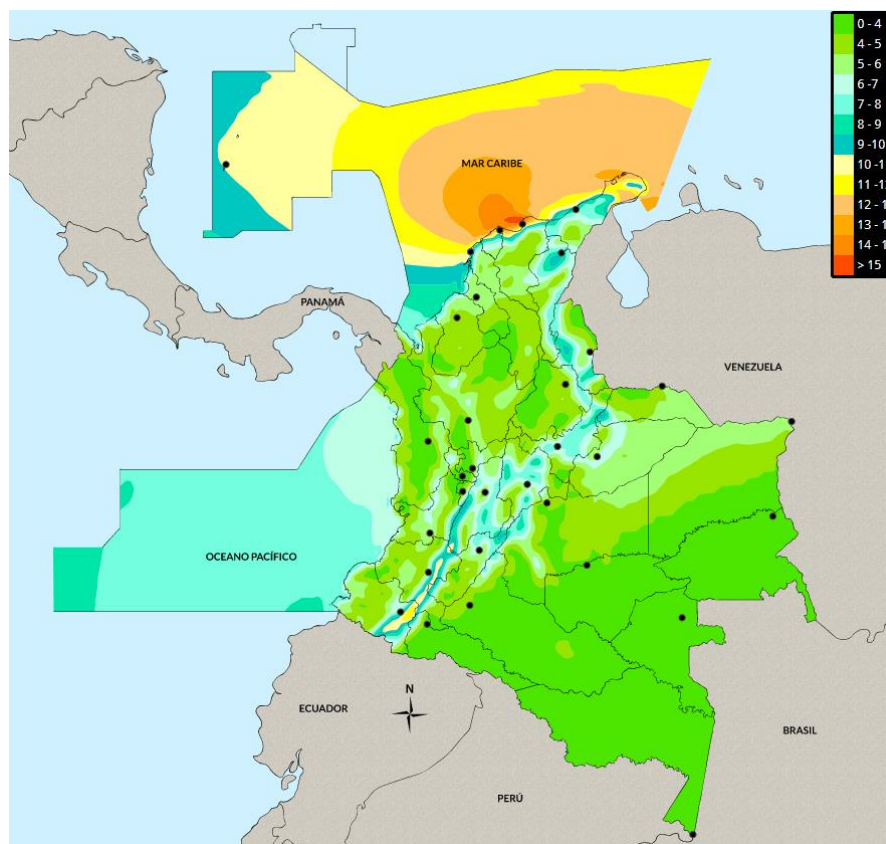
Fuente: adaptado de González (2019).

La selección de La Guajira como destino de la energía eólica se sustenta en las condiciones de riqueza de recursos eólicos en esa región, que se evidencian en el mapa de velocidad del viento promedio anual, extraído del Atlas de viento del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) como se muestra en la Figura 11. La eficiencia de los parques eólicos depende directamente de los regímenes de viento y por lo tanto de la



precisión que se tenga al momento de seleccionar una ubicación para construirlos (González, 2019).

**Figura 11.** Mapa velocidad del viento promedio anual Colombia.



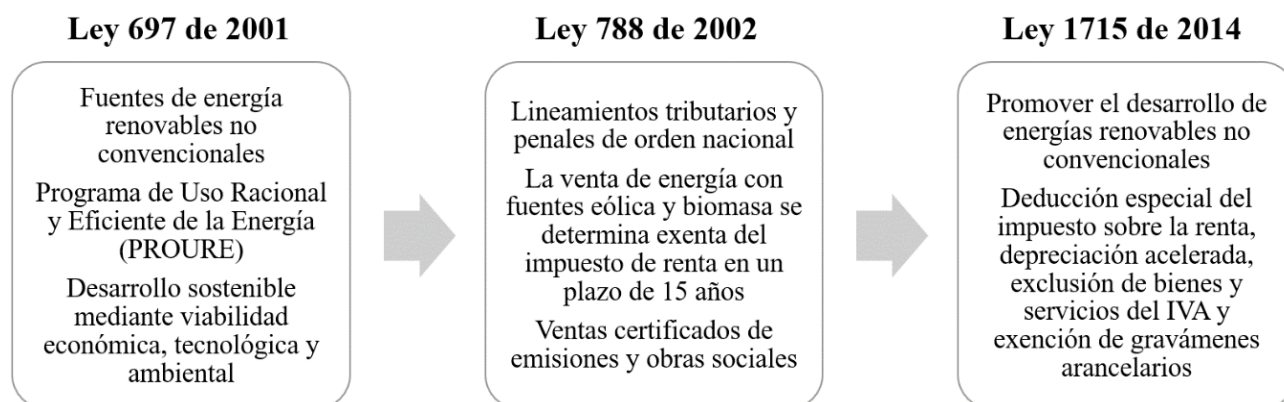
Fuente: adaptado de IDEAM (2020).

La mayoría de las empresas de la Tabla 3 son multinacionales debido a la capacidad de inversión y también a la experiencia adquirida en proyectos alrededor del mundo. Estas empresas se encuentran en la fase de estudios de prefactibilidad, consultas previas con la comunidad y de los estudios ambientales. Algunas de estas empresas ya han presentado ofertas a la UPME en los procesos de subasta que se analizarán más adelante y actualmente seis de estos proyectos ya han sido adjudicados en dichas subastas (González, 2019).

## Marco legal energía eólica en Colombia

En las últimas dos décadas, el congreso de Colombia ha expedido tres leyes indicadas en la Figura 12, las cuales fomentan la inclusión de FNCER en el sistema eléctrico.

**Figura 12.** Leyes promoción energía eólica en Colombia.

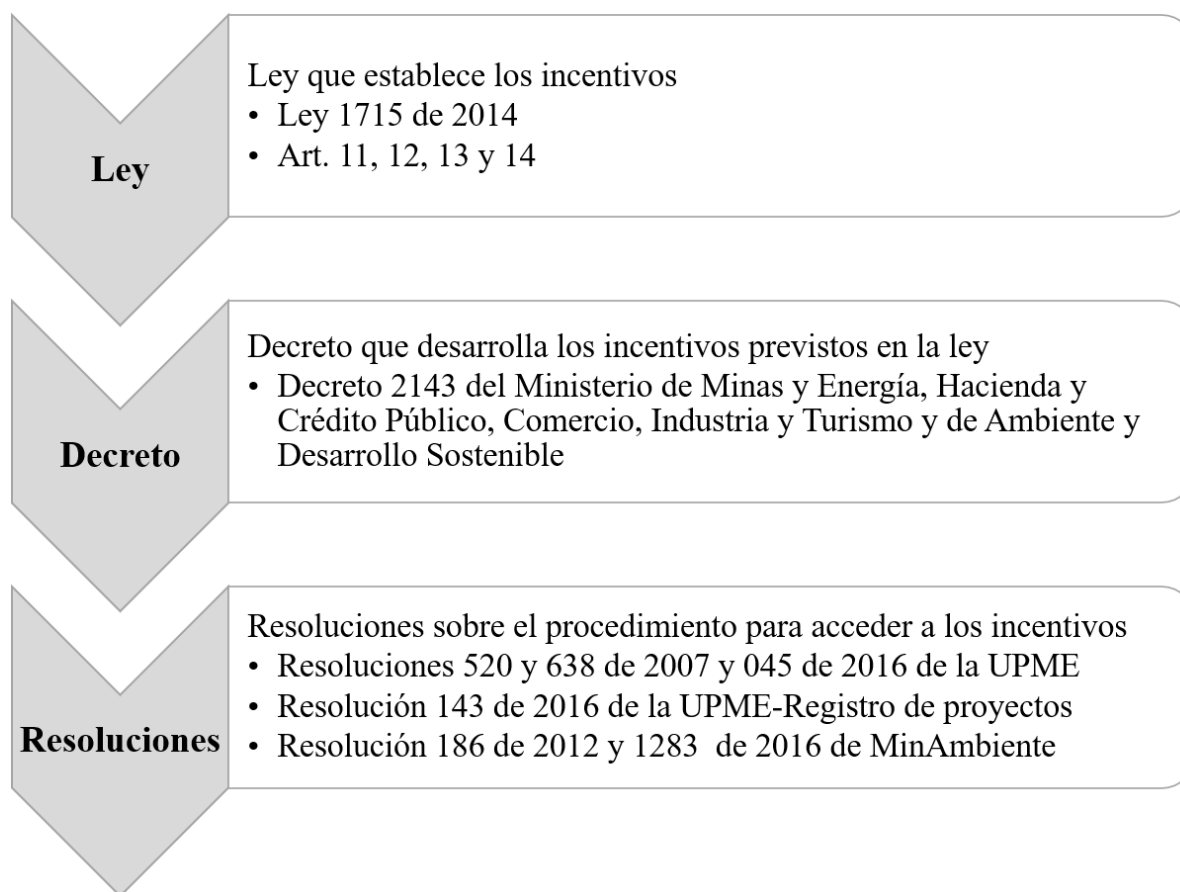


Fuente: adaptado de Congreso de Colombia (2001), Congreso de Colombia (2002), Congreso de Colombia (2014).

La primera es la Ley 697 de 2001 que marca un antecedente normativo con respecto a energías renovables; no obstante, es la Ley 788 de 2002 donde se incluye por primera vez el tema de incentivos tributarios en proyectos de energía que aporten a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>. Actualmente, se tiene la Ley 1715 de 2014 que presenta un panorama de fomento y desarrollo de las FNCER, mediante la protección al inversionista con la implementación de cuatro incentivos tributarios que se analizarán en capítulos posteriores (Congreso de Colombia, 2001), (Congreso de Colombia, 2002), (Congreso de Colombia, 2014).

La Ley 1715 de 2014 tiene un marco normativo mediante el decreto y las resoluciones ilustradas en la Figura 13, que desarrollan, reglamentan y precisan los procedimientos para acceder a los incentivos tributarios (ANLA, 2018).

**Figura 13.** Marco normativo Ley 1715 de 2014.



Fuente: adaptado de ANLA (2018).

En este contexto legal, Colombia requiere experimentar un proceso innovador de reformas institucionales y legales en el sector eléctrico, desde donde se emitan las pautas y mecanismos para incentivar el desarrollo de nuevos proyectos de energía eólica. Con miras en el crecimiento a largo plazo de la energía eólica indicado en la Figura 8, una estrategia sería la emisión de una resolución que elimine a las entidades estatales como intermediarios en los procesos de subastas y se permita la interacción directa entre representantes de las empresas generadoras y las empresas comercializadoras, esto tomando como referencia que en el artículo 42 de la Ley 143 de 1994 se concibe los procesos de generación y comercialización como un

mercado liberalizado, donde los agentes pueden realizar transacciones de energía sin la sujeción a un ente regulador (Congreso de Colombia, 1994).

Por otra parte, siguiendo el modelo chileno, en Colombia el artículo 221 de la Ley 1819 de 2016 decretó el impuesto nacional al carbono, que es un valor adicional de 15 mil pesos por tonelada de CO<sub>2</sub> generada por el uso de combustibles fósiles. Este tipo de estrategias regulatorias desincentivan el uso de fuentes de energía no renovables; no obstante, como complemento a esta norma se podría emitir una resolución donde se proponga un valor dinámico del impuesto que crezca año tras año (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019).

## Triple cuenta de resultados

La triple cuenta de resultados es un sistema introducido en 1998 por John Elkington y que se emplea en el análisis de la sostenibilidad organizacional, añadiendo las dimensiones ambiental y social al marco tradicional de rendimiento a la inversión y beneficios económicos para los accionistas. Así, la sostenibilidad a largo plazo se soporta en las tres dimensiones ambiental, social y económica como se indica en la Figura 14 (García, 2015).

**Figura 14.** Triple cuenta de resultados.



Fuente: Freepik (2020).

**Nota.** La triple cuenta de resultados comprende las dimensiones ambiental, social y económica de un proyecto sostenible.

La triple cuenta de resultados busca que las organizaciones generen valor ambiental, social y económico a partir del desarrollo de su actividad comercial. A partir de este modelo de análisis, las organizaciones definen indicadores en cada dimensión para eliminar la subjetividad

en la valoración de la sostenibilidad de los proyectos (García, 2015).

Las dimensiones ambiental, social y económica no son estáticas, ya que los factores de influencia en cada dimensión, van a cambiar dinámicamente durante la vida útil de un proyecto. Algunos de los factores que producen estos cambios pueden tener origen: político, regulatorio, bélico, inflacionario, recesivo económico, entre otros. En este orden de ideas, existen dos formas de examinar las tres dimensiones que son: particular y general. La visión particular concibe las dimensiones como tres islas separadas, donde en cada una se valora el cumplimiento de los indicadores de desempeño sin tener en cuenta a las demás. La visión general incluye en el análisis la fricción entre las dimensiones que se produce cuando el cumplimiento de indicadores en una dimensión afecta negativamente los indicadores de las otras dimensiones (García, 2015).

Al respecto se debe mencionar que el cumplimiento de las tres dimensiones de manera simultánea es una tarea compleja. De todas formas, esto se puede cumplir bajo el escenario donde el cumplimiento de indicadores ambientales y sociales retribuyan por ejemplo ingresos para las organizaciones a manera de incentivos tributarios. Adicionalmente, la gestión de la reputación y la buena imagen de las organizaciones a partir de las inversiones ambientales y sociales, se traduce en un mayor rendimiento económico a largo plazo (García, 2015).

La actividad humana en mayor o menor medida influye en la preservación de los recursos naturales y el medio ambiente, para lo cual se definen los indicadores de sostenibilidad. Estos indicadores permiten medir y realizar acciones de control. Algunos de estos indicadores son la huella ecológica, el indicador de desarrollo genuino, entre otros (Arias, 2006).

### **Objetivos de desarrollo sostenible**

Al hablar de la triple cuenta de resultados como un modelo de análisis de la sostenibilidad

a nivel organizacional, no se podría pasar por alto iniciativas internacionales que en los últimos años promueven el desarrollo sostenible, como lo son los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Los ODS indicados en la Figura 15 fueron aprobados en el año 2015 por 193 estados participantes de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Las FNCER y en particular la energía eólica, se encuentra alineada con los 12 ODS remarcados en la Figura 15 (González, 2019), (Kovalsky, 2011).

**Figura 15.** Objetivos de desarrollo sostenible.



Fuente: adaptado de ONU (2020).

Los ODS número 7, 11, 13, 14 y 15 hacen parte de la dimensión ambiental de la sostenibilidad. Los ODS número 6, 10 y 17 hacen parte de la dimensión social de la sostenibilidad. Los ODS número 1, 8, 9 y 12 hacen parte de la dimensión económica de la sostenibilidad.

De esta manera, en los siguientes capítulos de este documento se describen los factores y estrategias que influyen en la evolución de la energía eólica en Colombia bajo el enfoque de la triple cuenta de resultados y el cumplimiento tácito de los ODS remarcados en la Figura 15.

## **Dimensión ambiental de la sostenibilidad**

La dimensión ambiental de la sostenibilidad se relaciona con el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente. Desde esta dimensión se tienen ventajas referentes a la diversificación de la matriz energética mediante el uso de energía eólica, lo cual disminuye el impacto ambiental en la generación de energía eléctrica y además mitiga los efectos del fenómeno del Niño. En ese sentido, esta dimensión busca la preservación de la flora y la fauna, mediante leyes y regulaciones emitidas y protegidas por entes estatales de carácter nacional y regional (Almeida, 2019), (Pinilla, 2008).

Desde el enfoque ambiental, la energía eólica presenta ventajas como: el uso reducido del agua, no genera residuos radiactivos ni tampoco se basa en la explotación de minas en la extracción de recursos naturales, que pueden generar problemas adicionales como la erosión de las tierras. Por otra parte, la mayoría de los materiales empleados en la construcción de las turbinas eólicas se pueden reciclar (Almeida, 2019).

En este capítulo se presentan los principales protocolos y acuerdos ambientales. Posteriormente, se describen los impactos ambientales junto con estrategias de mitigación de los mismos. Finalmente, se muestran los requerimientos de los proyectos de energía eólica para obtener los certificados y licencias ambientales en Colombia.

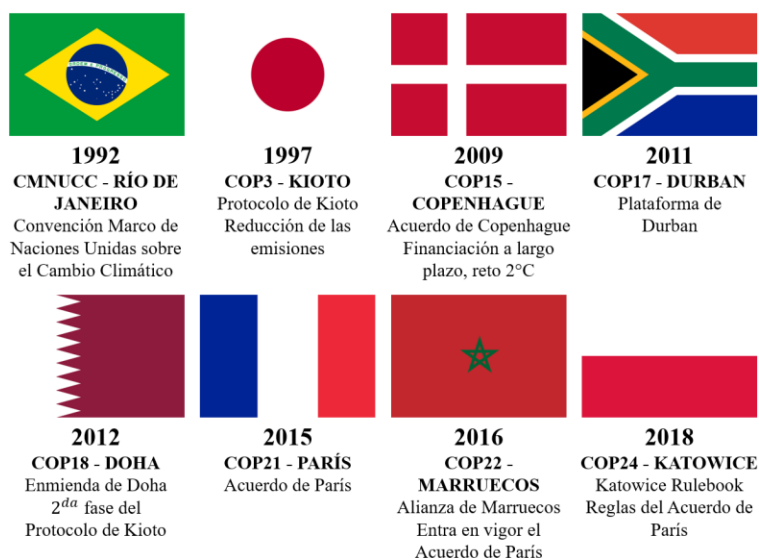
## **Protocolos y acuerdos ambientales internacionales**

Para alcanzar los ODS ambientales se han pactado acuerdos y protocolos en las cumbres climáticas conocidas como Conferencias de las Partes (COP) indicadas en la Figura 16, donde se proponen estrategias para mitigar el cambio climático. En estos acuerdos se definen



responsabilidades y compromisos voluntarios dependiendo del nivel de industrialización de los países (Iberdrola, 2020).

**Figura 16.** Principales cumbres climáticas.



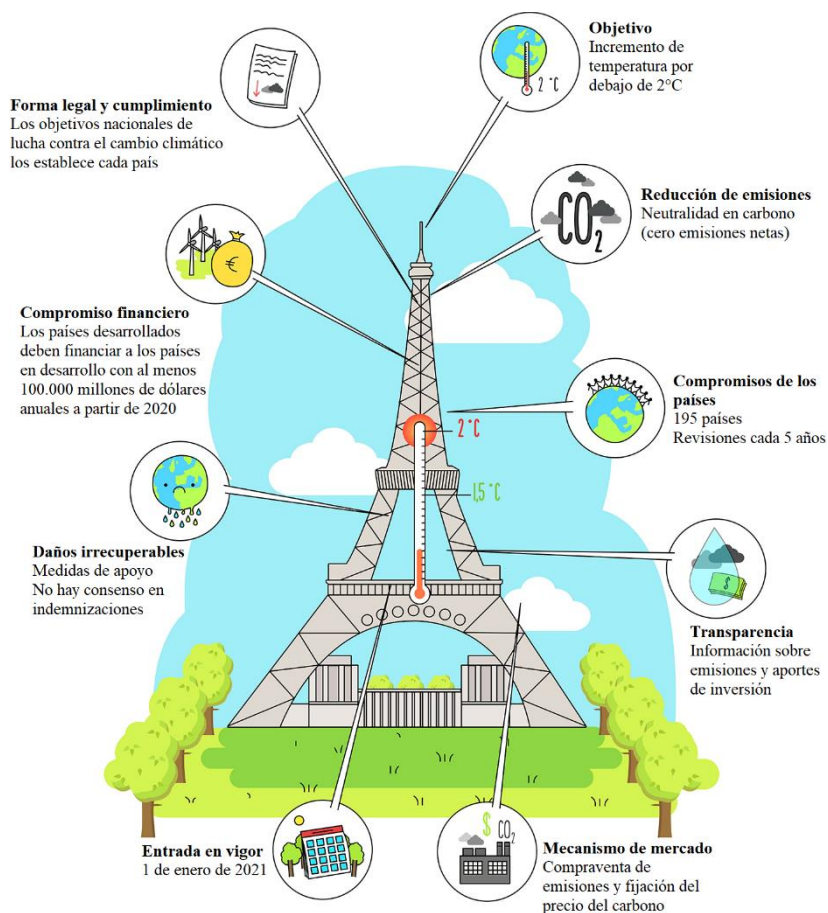
Fuente: adaptado de Iberdrola (2020).

Una de las primeras iniciativas fue la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) o también llamada cumbre de la tierra celebrado en Río de Janeiro en 1992, que buscaba el asentamiento de las políticas globales que permitiesen el desarrollo sostenible de los países (Iberdrola, 2020).

En 1997 se gesta el Protocolo de Kioto, el cual es un acuerdo frente al cambio climático, donde se establecen responsabilidades cuantificables para combatirlo. El Protocolo de Kioto entró en vigor en el 2005 y consiste en la puesta en práctica del CMNUCC. Colombia no hace parte del Protocolo de Kioto por ser un país en vía de desarrollo, para los cuales se establecen los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) como contribución al cumplimiento de los ODS. Los MDL son una parte del Protocolo de Kioto mediante los cuales se busca extender la participación

de los países que no tienen una responsabilidad formal en las metas de reducción de emisiones contaminantes, y mediante esta estrategia se promueve el desarrollo sostenible ofreciendo una posibilidad económica mediante la venta de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE). En el protocolo de Kioto se define que mediante las FNCER una tonelada de CO<sub>2</sub> que se evita emitir a la atmosfera equivale a un CRE, el cual tiene un valor de USD 4,9 (Kovalsky, 2011), (Iberdrola, 2020). La segunda fase del Protocolo de Kioto tiene vigencia hasta el 31 de diciembre de 2020, así en el 2021 empezarán a regir las medidas adoptadas en el Acuerdo de París, indicado en la Figura 17 (Acciona, 2020).

**Figura 17.** Acuerdo de París.



Fuente: adaptado de Acciona (2020).

El Acuerdo de París tiene como principal objetivo limitar el incremento de la temperatura a 2°C a finales del siglo, tomando como referencia la temperatura terrestre de la era preindustrial. El Acuerdo de París considera otros factores como la reducción de emisiones, el compromiso de los países, la transparencia, los mecanismos de mercado, el compromiso financiero y las estrategias de cumplimiento (Iberdrola, 2020).

### **Impactos ambientales**

Desde el enfoque ambiental, la energía eólica genera impactos que no están relacionados con emisiones de CO<sub>2</sub> o residuos, los cuales únicamente se presentan en la fase de fabricación de las turbinas. El viento es una fuente de energía limpia cuyo impacto ambiental es sustancialmente menor comparado con las fuentes de generación no renovables. Estos impactos se describen en los siguientes literales.

### **Impacto visual**

El impacto visual de las turbinas eólicas está influenciado por el tamaño, color, diseño y cantidad de aspas de las turbinas eólicas. Este efecto adquiere relevancia cuando se considera los parques eólicos, donde se reúnen varias turbinas. El color blanco o gris claro es usualmente empleado con el fin tener el menor impacto en el paisaje, no obstante, algunas iniciativas buscan implementar colores diferentes como el violeta o el negro. Adicionalmente, el impacto visual se considera como un factor altamente subjetivo, lo cual implica que las distintas comunidades tengan una respuesta social diferente ante este tipo de proyectos. Por otra parte, los parques eólicos tienen un potencial atractivo turístico generando ingresos, empleo y desarrollo regional (Almeida, 2019).

## **Impacto sonoro**

En los lugares donde se instalen las turbinas eólicas, los residentes se someten al ruido debido al movimiento de los rotores de las máquinas, dependiendo de las especificaciones técnicas de las turbinas eólica, como por ejemplo el tamaño, el tipo de generador, los amortiguadores, entre otros. Así, los desarrolladores de los proyectos eólicos son responsables de verificar mediante simulaciones o mediciones que el nivel de ruido se encuentre por debajo de 60 dB que es de donde se empiezan a presentar efectos fisiológicos como náuseas o dolores de cabeza. Se ha demostrado que, en distancias superiores a 300 m de las residencias, el ruido de las turbinas eólicas se encuentra alrededor de 40 dB y no representa un riesgo para el bienestar de las personas (Almeida, 2019).

La tendencia actual es la construcción de parques eólicos cada vez más grandes, motivados por un mejor uso de localizaciones con buenos regímenes de viento, y el impacto visual y de ruido son limitados a unas cuantas regiones. Adicionalmente, las turbinas eólicas son ambientalmente amigables, de tal forma que los impactos implicados (ruido y contaminación visual) son completamente eliminados cuando las turbinas eólicas son desmanteladas (Burneo, 2016).

## **Impacto en las aves**

El impacto de la energía eólica en las aves es relativamente bajo comparado con otras actividades. Los diseños obsoletos de turbinas eólicas presentaban el inconveniente de afectar las aves con el impacto del movimiento de las aspas, por ello se ha implementado estrategias como el uso de diferentes colores en las turbinas eólicas. Por otra parte, la selección de la localización

de los proyectos eólicos busca interferir lo menos posible en las rutas de migración de las aves (Almeida, 2019).

### **Utilización del área**

De cada km<sup>2</sup> dispuesto para los parques eólicos, únicamente el 1% del terreno es ocupado por las bases de las torres, en este orden de ideas, el área de los parques puede ser empleada para actividades como la agricultura o la ganadería (Rao, 2019).

### **Impacto interferencia de ondas electromagnéticas**

Las turbinas eólicas generan interferencia electromagnética, que puede afectar los sistemas de comunicaciones y transmisión de datos. Las turbinas pueden reflejar las señales, de tal forma que los receptores tomen una señal de reflexión indeseada (Oliveira, 2013).

### **Certificación ambiental**

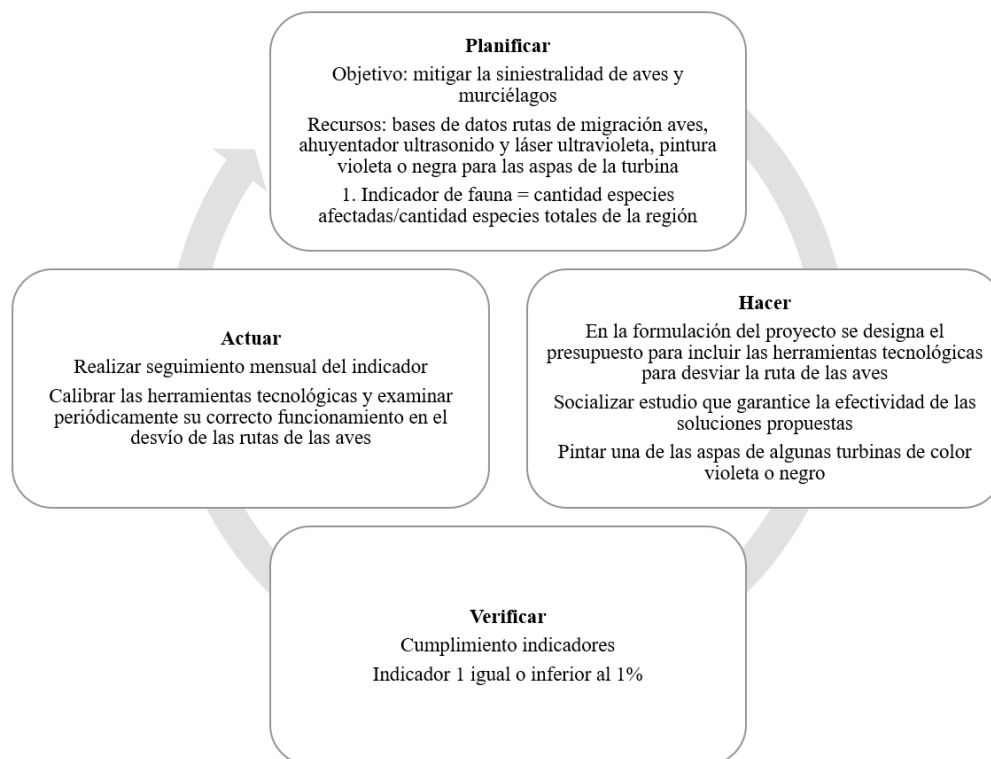
La certificación ambiental corresponde a una de las etapas de los proyectos de energía eólica para acceder a los incentivos tributarios dictados por la Ley 1715 de 2014. Esta certificación ambiental es expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) a través de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), según los lineamientos indicados en el artículo 158-2 del Estatuto Tributario. Para los parques que superan los 100 MW de potencia instalada se tramita la licencia ambiental mediante la ANLA; no obstante, en potencias menores la gestión se hace directamente con las autoridades departamentales, como la Corporación Autónoma Regional de La Guajira (Corpoguajira). El procedimiento para obtener el certificado ambiental empieza con la radicación ante la ANLA de

la solicitud con los requisitos generales y especiales indicados en la resolución 1283 de 2016. Luego, en un plazo de 15 días hábiles la ANLA revisa la información suministrada y notificará la necesidad de documentación faltante o la aprobación de los documentos para iniciar el trámite de gestión del certificado. Finalmente, la ANLA cuenta con 25 días hábiles para estudiar la solicitud y emitir mediante resolución el certificado, que tendrá una vigencia de 1 año a partir de la fecha de expedición (ANLA, 2018).

### Propuesta estrategia mitigación siniestralidad fauna

En la Figura 18 se muestra el ciclo PHVA como estrategia para el mejoramiento continuo de la dimensión ambiental en proyectos de energía eólica en Colombia.

**Figura 18.** Ciclo PHVA dimensión ambiental.



Fuente: adaptado de Almeida (2019).

## **Dimensión social de la sostenibilidad**

La dimensión social de la sostenibilidad se enfoca en la mejora de las oportunidades y la distribución equitativa de los ingresos por concepto de la venta de energía eléctrica generada mediante las turbinas eólicas. Así, esta dimensión se enfoca en analizar problemas sociales como el empleo no formal y la exclusión social; esta última se fundamenta en la falta de promociones de los ODS (Almeida, 2019).

La Ley 1715 de 2014 no es clara en el rol y beneficios para las comunidades donde se instalan los parques eólicos, por lo tanto las empresas que lleven a cabo los proyectos y adicionalmente a los requisitos legales también deben considerar la consulta previa con las comunidades de tal forma que se genere un escenario de cooperación mutua para que los proyectos tengan éxito (Congreso de Colombia, 2014).

En este capítulo se describen las condiciones particulares para la ejecución de los proyectos en la Guajira que se deben considerar. También se muestra el caso del parque eólico Jepírachi y el modelo de compensación en especie implementado. Finalmente, se presenta el modelo danés que incorpora una participación activa de la comunidad donde se ejecutan los proyectos de energía eólica.

## **Comunidades Wayúu**

Los proyectos eólicos que se desarrollarán en La Guajira impactarán ambiental, social y económicamente a 288 comunidades Wayúu en el resguardo Alta y Media Guajira, principalmente en veredas localizadas en los municipios de Uribia y Maicao. La etnia indígena Wayúu es la más numerosa en Colombia, representando con 277.000 personas, el 20% de la población indígena colombiana y el 42% de la población en la Guajira. El territorio Wayúu tiene

una extensión de 15.380 km<sup>2</sup> en Colombia y 3.380 km<sup>2</sup> en Venezuela; además, es un resguardo de propiedad colectiva que según el artículo 63 de la Constitución Política de Colombia tiene las características de ser inembargable, imprescriptible e inalienable, lo cual significa que son tierras que no tienen un valor comercial y por lo tanto no pueden negociarse (Empresas Públicas de Medellín, 2010).

Los Wayúu se organizan en 22 clanes distribuidos por lazos familiares o espirituales. Sus actividades económicas son el pastoreo de ganado, la pesca y la agricultura en épocas de lluvia.

Con respecto a los proyectos descrito en la Tabla 3, las comunidades han expresado que no todos los proyectos planificados han realizado un acercamiento y consulta previos con la comunidad. Adicionalmente, los que si hacen la consulta previa no muestra la información completa sobre los proyectos a desarrollarse (González, 2019).

### **Modelo Jepírachi**

El parque eólico Jepírachi requirió 3 años en los procesos de consulta previa con la comunidad Wayúu, siguiendo los lineamientos de la Ley 21 de 1991 y el Decreto 1320 de 1998 referentes a las condiciones para explotar recursos naturales en territorios de etnias indígenas. La comunidad Wayúu al final de este proceso autorizó la utilización del terreno para el proyecto, el cual no generó desplazamiento de población. El proyecto Jepírachi para usar el terreno tuvo que emplear la figura jurídica de servidumbre, indicado en el Código Civil Colombiano como un gravamen sobre el uso de un predio que tiene otro propietario (Empresas Públicas de Medellín, 2010).

Este proyecto fue desarrollado bajo las condiciones de la Ley 788 de 2002. En el artículo 18 de esta ley se indica que la exención del impuesto sobre la renta se obtiene siempre y cuando



el 50% de la venta de CRE sea invertido en obras de beneficio social en la localidad donde opera el parque eólico. Dentro de las obras compensatorias de beneficio social y como contraprestación por el uso del terreno se encuentran: construcción de planta desalinizadora y redes de tuberías para consumo de agua potable, construcción y adecuación de jagüeyes o reservorios de agua, ampliación y dotación escuela, ampliación y dotación puesto de salud, cerramiento cementerio, adecuación puerto para lanchas, dotación de tres embarcaciones con motor y aparejos de pesca, mejoramiento de viviendas, tanques para almacenamiento de agua. Estas inversiones contempladas dentro del plan social del proyecto, implicaron una inversión total de USD 816.504 (Empresas Públicas de Medellín, 2010).

En lo referente a la generación de empleo durante la fase de construcción del parque eólico se tuvieron 147 empleos para las personas de la región y en la fase de operación se han generado 68 empleos entre directos, indirectos y ocasionales para los habitantes de la comunidad Wayúu (Empresas Públicas de Medellín, 2010).

### **Modelo danés**

Desde el punto de vista social también se contempla la aceptación de este tipo de proyectos por parte de la comunidad y también el apoyo ofrecido por el gobierno, que se refleja directamente en las leyes y regulaciones. La acogida de los proyectos eólicos por parte de la comunidad en general, depende directamente de los compromisos adquiridos entre las empresas desarrolladoras de los proyectos y los entes territoriales. Estos compromisos pueden abarcar porcentajes de participación en las ganancias para las comunidades o desarrollo de infraestructura como plantas de tratamiento de agua, entre otros. Por otra parte, las empresas

también pueden ofrecer inversiones como parte de sus planes de responsabilidad social empresarial en sectores como la educación o la salud (Almeida, 2019).

En particular las inversiones en educación tienen una retribución directa debido a la posibilidad de contratar trabajadores especializados directamente en las localidades, lo que puede reducir costos en el personal. Las áreas más pertinentes son ingeniería, analistas energéticos, administración, finanzas y contabilidad (Almeida, 2019).

En el modelo danés la transformación de la matriz energética hacia FNCER incluye a los inversionistas, lo dueños de los predios y la comunidad en general mediante iniciativas de energía comunitaria. Los proyectos eólicos en Dinamarca son manejados en un 85% por las empresas de energía y también los propietarios de los predios bajo la figura de socios y por lo tanto participan en la repartición de las utilidades en la venta de energía. Bajo este modelo las turbinas eólicas son copropiedad de los dueños de las tierras, que en la mayoría de los casos se dedican a labores de ganadería y agricultura (González, 2019).

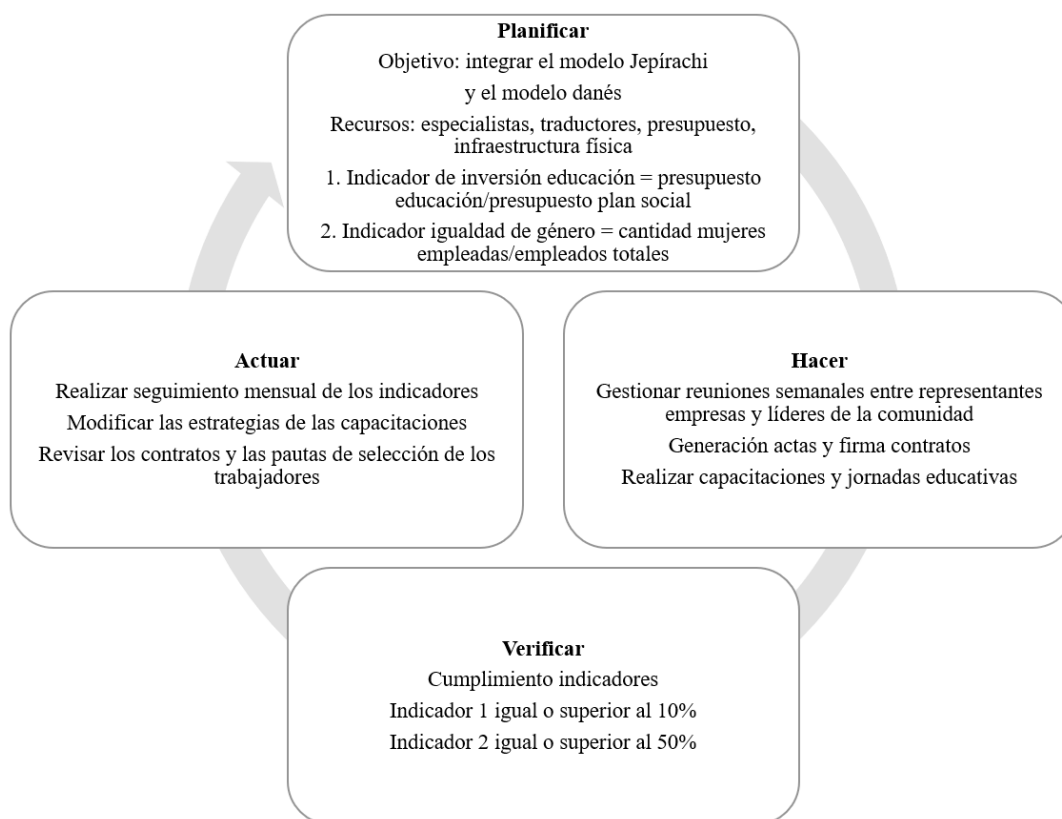
### **Propuesta estrategia modelo social**

Como estrategia en la implementación de un modelo social para la interacción con las comunidades, se propone una combinación del modelo Jepírachi y el modelo danés, donde se realicen inversiones en salud, seguridad social y laboral, igualdad de oportunidades, acceso a educación y en planes sociales; a esto adicionalmente se le suma un porcentaje de participación en el negocio de la energía para las comunidades, de tal forma que se genere un sentido de pertenencia y los proyectos puedan ser beneficiosos para todas las partes involucradas.

De esta manera, la llegada de nuevos proyectos de FNCER a La Guajira debe reflejar un incremento en el índice de desarrollo humano en la región. Para lo cual se propone realizar un

seguimiento sobre los indicadores como en educación, también en términos de salud y seguridad alimentaria en el incremento de la esperanza de vida. Por otra parte, desde el punto de vista de la equidad de género, una repartición igualitaria en la participación en los empleos que se generan a partir de los proyectos de energía eólica. En la Figura 19 se muestra el ciclo PHVA como estrategia para el mejoramiento continuo de la dimensión social en proyectos de energía eólica en Colombia.

**Figura 19.** Ciclo PHVA dimensión social.



Fuente: adaptado de González (2019).

## **Dimensión económica de la sostenibilidad**

La generación de energía eléctrica mediante combustibles fósiles es bastante susceptible a la volatilidad en los precios de carbón, petróleo y gas. De esta manera, la energía eólica no se encuentra sujeta a este tipo de restricciones y usa un recurso natural como fuente primaria que a priori no tiene ningún costo. Esta ventaja debe considerarse dentro de un contexto más general donde intervengan los costos de construcción, operación y mantenimiento, durante la vida útil del proyecto (Rao, 2019).

Debido a la poca experiencia que tiene Colombia en proyectos de energía eólica, se espera que los primeros proyectos tengan mayores costos, y en la medida que las empresas asimilen los conocimientos técnicos y administrativos necesarios para llevar adelante los proyectos, las empresas serán más eficientes y podrán reducir los costos de ejecución (Almeida, 2019).

La dimensión económica de la sostenibilidad es la que impulsa a las dimensiones ambiental y social, puesto que a partir de la generación de ingresos se presenta la posibilidad de realizar inversiones sociales y también una implementación adecuada de los planes ambientales. Es importante mencionar que el incremento en la demanda de energía eléctrica conlleva un incremento del desarrollo económico (Almeida, 2019).

En este capítulo se describen los lineamientos generales del mercado de energía en Colombia, una comparación de los costos de diferentes tipos de energía renovable. Posteriormente, se presentan los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014 para energías renovables. Finalmente, se mencionan los resultados más importantes de las subastas de energía eólica llevados a cabo por el Ministerio de Minas y Energía (MME) y la UPME en el año 2019.

## **Mercado de energía mayorista en Colombia**

El Mercado de Energía Mayorista (MEM) en Colombia es un mercado de libre competencia que se creó a partir de las Leyes 142 y 143 de 1994. El MEM es administrado por la empresa XM filial del grupo ISA (SSPD, 2017).

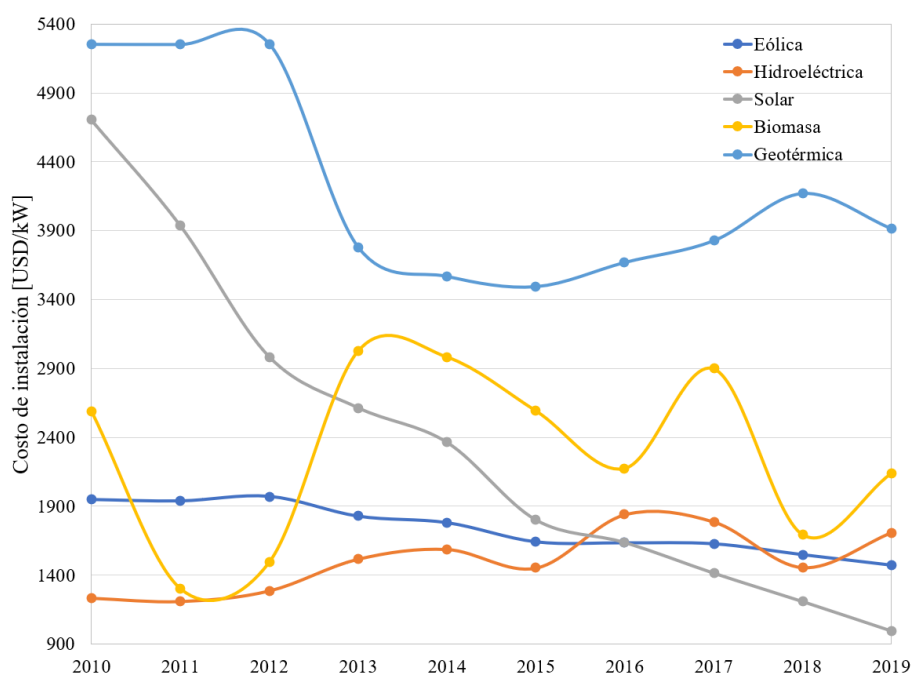
El MEM tiene dos formas para establecer las tarifas en sus componentes que son: la bolsa de energía y los contratos bilaterales. En la bolsa de energía los generadores realizan una oferta diaria de precio y disponibilidad de capacidad; con esta información XM se encarga de seleccionar los generadores que serán despachados en el día siguiente, teniendo en cuenta los pronósticos de demanda. Por otra parte, los contratos bilaterales son ejecutados por agentes no regulados que corresponde a grandes consumidores, los cuales pueden realizar una libre negociación de la tarifa de energía directamente con la empresa generadora de energía (SSPD, 2017).

## **Costos de la energía eólica**

El costo del kW instalado es un factor fundamental que define la decisión de los inversores al momento de seleccionar un tipo de proyecto en el cual inyectar capital. En la Figura 20 se muestra la evolución en la última década del costo de instalación de los diferentes tipos de energía renovable. En todos los casos se presenta una tendencia decreciente y se espera que en los últimos años la tendencia continúe como consecuencia de la entrada de nuevos actores del mercado como empresas que suministran maquinaria, servicios, entre otros y que generan un incremento de la oferta y por lo tanto la reducción de los costos (IRENA, 2019).

Los costos presentados en la Figura 20 son una referencia que de todas formas debe tener en cuenta adicionalmente las condiciones particulares de la economía y legislación de cada país. En este sentido, entran en juego variables como el costo de nacionalización de equipos, los cuales en su mayor parte serán importados, en los casos como Colombia donde no se cuenta con una industria de fabricación de turbinas eólicas (Almeida, 2019).

**Figura 20.** Costo de instalación [USD/kW] 2010 – 2019.



Fuente: adaptado de IRENA (2019).

### Incentivos tributarios

Los proyectos de energías renovables que deseen acceder a los cuatro incentivos tributarios declarados en la Ley 1715 de 2014 deberán obtener el certificado de la UPME y el certificado ambiental de la ANLA. Estos certificados se envían a la Ventanilla Única de Comercio Exterior (VUCE), mediante lo cual entiendo notificada la Dirección de Impuestos y

Aduanas Nacionales (DIAN), que es la responsable de ejecutar los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014 y que se describen en los siguiente literales (ANLA, 2018).

### **Deducción especial del impuesto sobre la renta**

Las inversiones realizadas en producción, utilización, investigación y desarrollo de energías no convencionales tienen derecho a deducir hasta el 50% del monto total de las inversiones en un periodo de máximo 5 años. El valor que se deduce no puede superar el 50% de la renta líquida antes de sustraer la deducción (ANLA, 2018).

### **Depreciación acelerada**

Aplica sobre los activos que no supere un valor del 20% anual sobre la tasa anual global cuando se realice la declaración del impuesto sobre la renta. Este incentivo aplica en equipos, maquinaria y obras civiles (ANLA, 2018).

### **Exclusión del IVA en la adquisición de bienes y servicios**

Aplica sobre todos los bienes y servicios nacionales o importados que sean necesarios para el desarrollo de proyectos mediante energías renovables (ANLA, 2018).

### **Exención de gravámenes arancelarios**

La importación de maquinaria, equipos y demás elementos importados para proyectos de energías renovables no tienen obligación en el pago de derechos arancelarios (ANLA, 2018).

## **Subastas energía eléctrica a largo plazo**

Las subastas de energía eléctrica son una iniciativa del MME y la UPME para promover la diversificación la matriz energética nacional a partir de la implementación de proyectos de energía basados en FNCER. Estas subastas se llevan a cabo para adjudicar los Contratos de Largo Plazo de Energía Eléctrica (CLPE) entre empresas generadoras y empresas comercializadoras mediante un contrato bilateral. Hasta la fecha se han realizado dos subastas en febrero y octubre del año 2019, respectivamente (UPME, 2019).

### **Subasta CLPE No. 01 (febrero de 2019)**

La audiencia pública de adjudicación de esta subasta se llevó a cabo el 26 de febrero de 2019 en las instalaciones de la UPME. En esta subasta se ofertaron 9 proyectos de venta de energía mediante FNCER por parte de las empresas generadoras, y también 14 demandas de compra por parte de las empresas comercializadoras. No obstante, luego de conocer las ofertas económicas y de energía, el auditor de la subasta determinó que no se cumplían las condiciones de competencia indicadas en los numerales 12.2.4 y 12.2.5 de los pliegos de términos y condiciones específicas de la subasta. Esto tomando como referencia el artículo 2 de la Resolución CREG No. 020 de 2019, la cual busca garantizar una interacción eficiente entre la oferta y la demanda para contrataciones de energía a largo plazo (UPME, 2019).

En la Resolución CREG No. 020 de 2019 se definen los siguientes 3 indicadores: Indicador de Participación (IP) que mide la proporción de agentes independientes sobre el total de oferentes que participan en la subasta. Este indicador debe tener un valor mayor o igual a 50%. En esta subasta el resultado de este indicador fue  $IP=87,50\%$ , cumpliendo el requerimiento. También se tiene el Indicador de Concentración de Oferta (ICO) que mide el grado de



concentración de la oferta de venta de energía considerando la cantidad de energía ofrecida por cada generador en la definición del precio de equilibrio de la subasta. Este indicador debe tener un valor menor o igual a 2800. En esta subasta el resultado de este indicador fue  $ICO=7836,22\%$ , el cual no cumple el requerimiento. Finalmente, se tiene el Indicador de Dominancia (ID) que determina el umbral de participación para el ofertante con la mayor participación. Este indicador debe tener un valor mayor que el porcentaje de participación del mayor ofertante. En esta subasta el porcentaje del mayor ofertante es 0,88 y el ID es 0,12 por lo cual no se cumple este requerimiento (CREG, 2019).

Puesto que los dos últimos indicadores no cumplen los requisitos de competencia establecidos en la Resolución CREG No. 020 de 2019, se declaró la subasta sin adjudicatarios de generación ni de comercialización (UPME, 2019).

### **Subasta CLPE No. 02 (octubre de 2019)**

La audiencia pública de adjudicación de esta subasta se llevó a cabo el 22 de octubre de 2019 en las instalaciones de la UPME. En esta subasta se ofertaron 38 proyectos de venta de energía mediante FNCER por parte de las empresas generadoras, y también 23 demandas de compra por parte de las empresas comercializadoras. Esto representa un incremento del 265% en la cantidad de proyectos que participan del proceso de subasta con respecto a la subasta CLPE No. 01 (UPME, 2019).

Las empresas que participaron de la subasta realizaron un proceso previo de precalificación donde demostraron capacidad jurídica, experiencia técnica y liquidez financiera. Adicionalmente, las empresas cumplieron el pago de una garantía de seriedad en el proceso de

subasta, satisfaciendo así los lineamientos del pliego de términos y condiciones específicas (UPME, 2019).

En esta subasta se respetaron las condiciones de competencia tomando como referencia los indicadores de la Resolución CREG No. 020 de 2019. De esta manera, en esta subasta se adjudicaron 22 comercializadoras y 6 proyectos de energía eólica que representan una potencia instalada de 1077 MW, con un precio promedio de 95,65 \$/kWh que está \$50 por debajo del costo de generación promedio actual. En la Tabla 4 se muestran los proyectos y empresas generadoras adjudicadas en la subasta (UPME, 2019).

**Tabla 4.** Proyectos eólicos adjudicados.

Proyecto	Empresa	Potencia [MW]
Beta	EDP Renováveis	280
Alpha		212
Camelia	Empresa de Energía del Pacífico	250
Acacia 2		80
Casa eléctrica	Jemeiwaa Ka'I	180
Apotolorru		75

Fuente: adaptado de UPME (2019).

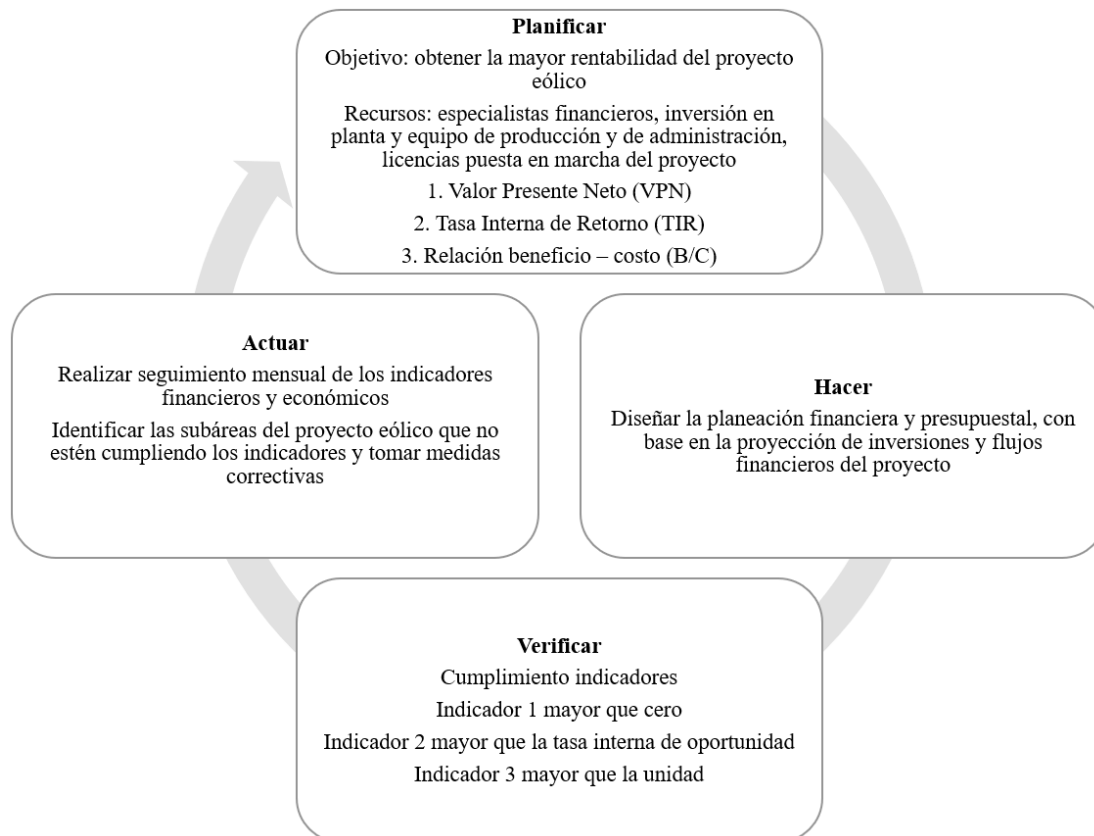
**Nota.** Esta tabla muestra los proyectos eólicos adjudicados en la subasta CLPE No. 2 de 2019, la empresa desarrolladora y la capacidad instalada de potencia de cada proyecto en unidades de megavatios (MW).

Los contratos que se ejecutarán entre las empresas generadoras y las empresas comercializadoras adjudicadas en la subasta, tendrán una vigencia de 15 años empezando el 1 de enero de 2022.

## Propuesta estrategia gestión financiera

En la Figura 21 se muestra el ciclo PHVA como estrategia para el mejoramiento continuo de la dimensión económica en proyectos de energía eólica en Colombia.

**Figura 21.** Ciclo PHVA dimensión económica.



Fuente: adaptado de Ocaña (2017).

### **Lecciones aprendidas**

- La sostenibilidad en los proyectos se alcanza mediante la consideración oportuna de diferentes dimensiones como la ambiental, social y económica. Para el caso de proyectos de infraestructura adicionalmente se valida el componente técnico.
- La coordinación conjunta de entidades estatales como la UPME y el MME, y las empresas inversoras, producen un escenario idóneo para el desarrollo de energía eléctrica limpia y a un menor precio.
- La diversificación de la matriz energética mitiga los efectos naturales como el fenómeno del Niño.
- Los países industrializados son los principales responsables del cambio climático; no obstante, países como Colombia pueden implementar estrategias como las energías limpias para aportar en la solución del problema del calentamiento global.

## Conclusiones

- La presentación del panorama de los recursos eólicos y de las organizaciones que desarrollan los proyectos, tomando como referencia la triple cuenta de resultados es un punto de referencia para las organizaciones colombianas con el fin de adquirir un conocimiento más a fondo en temas de energías renovables y así tener la posibilidad de competir con empresas multinacionales en la puja por la adjudicación de nuevos proyectos.
- El 66,6 % de las empresas a las que han sido adjudicados proyectos de energía eólica en Colombia, son multinacionales debido a la capacidad de inversión y también a la experiencia adquirida en proyectos en todo el mundo.
- La riqueza en recursos naturales de Colombia, le ofrece una ventaja competitiva en la puja por alcanzar los ODS.
- Colombia requiere un marco jurídico más concreto referente a las energías renovables en general, desde el cual se implementen estrategias a largo plazo para incentivar mediante leyes de carácter tributario, el desarrollo de este tipo de energía donde se involucren los ejes social y ambiental.
- En el contexto latinoamericano, Colombia con respecto a la potencia eólica instalada actualmente se encuentra 5394,1 MW por debajo del promedio de los cinco países de mayor desarrollo eólico de la región (Brasil, México, Chile, Uruguay y Argentina). A partir de los proyectos adjudicados en la subasta CLPE No. 2 de 2019, Colombia estará 2536,1 MW por debajo del promedio de dichos países. De esta manera, se presenta un escenario de oportunidad de diversificación de la matriz energética y por lo tanto una mayor competencia y oferta en el mercado, que implicará una potencial reducción en las tarifas de energía eléctrica.

- Los factores que influyen el desarrollo eólico en la dimensión ambiental son los diferentes impactos (visual, sonoro, siniestralidad en las aves, entre otros), junto con los trámites de certificación ambiental. En la dimensión social, se encuentran los mecanismos de interacción con la comunidad de la región donde se ejecutan los proyectos y las compensaciones económicas o en especie que se definen a cambio del uso del terreno. En la dimensión económica, los factores serían los incentivos tributarios para este tipo de energía renovable y los procesos de adjudicación de contratos como las subastas, llevadas a cabo en Colombia en el año 2019.
- El instrumento PHVA se emplea para abordar estrategias que incentiven el desarrollo de energía eólica en Colombia, y el mejoramiento continuo en los procesos de este tipo de proyecto, realizando un seguimiento periódico a indicadores ambientales, sociales y económicos.

## Referencias bibliográficas

- Acciona. (2020). *Acuerdo de París*. Obtenido de Sostenibilidad para todos:  
<https://www.sostenibilidad.com/>
- Almeida, J. d. (2019). Wind energy in Brazil: an overview and perspectives under the triple bottom line. *Clean Energy*, 69-84.
- ANLA. (2018). *Guía práctica para la aplicación de los incentivos tributarios de la Ley 1715 de 2014*. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Arias, F. (2006). *Desarrollo sostenible y sus indicadores*. Cali: CIDSE, Centro de Investigaciones y Documentación Socioeconómica .
- Badurek, C. (2011). *Wind turbine technology*. Estados Unidos: Encyclopedia Britanica, Inc.
- Burneo, J. P. (2016). *Análisis de sensibilidad para la integración de nuevos sistemas de generación eléctrica en el Ecuador, basados en energía eólica*. Guayaquil: Universidad Espíritu Santo.
- Congreso de Colombia. (1994). *Ley 143*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.
- Congreso de Colombia. (2001). *Ley 697*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.
- Congreso de Colombia. (2002). *Ley 788*. Bogotá: Ministerio de Hacienda y Crédito Público.
- Congreso de Colombia. (2014). *Ley 1715*. Bogotá: Ministerio de Minas y Energía.
- Cortés, S. (2017). Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía. *Revista Ciencias Estratégicas*, 375-390.
- CREG. (2019). *Resolución No. 020 de 2019*. Bogotá: Comisión de Regulación de Energía y Gas.
- Empresas Públicas de Medellín. (2010). *Jepírachi: una experiencia con la comunidad indígena Wayúu de la Alta Guajira colombiana*. Medellín: EPM.
- Freepik. (2020). *Imágenes fuentes de energía*. Obtenido de Freepik Company:  
<https://www.freepik.es/>

- García, M. (2015). La cuenta del triple resultado o triple bottom line. *Reevista de contabilidad y dirección*, 65-77.
- González, C. (2019). *El viento del este llega con revoluciones. Multinacionales y transición con energía eólica en territorio Wayúu*. Bogotá: Fundación Heinrich Böll.
- Hernández, R. F. (2015). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGrawHill Companies, Inc.
- Iberdrola. (2020). *Las principales cumbres climáticas*. Obtenido de Acuerdos internacionales sobre el cambio climático: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad>
- IDEAM. (2020). *Atlas de Viento*. Obtenido de Introducción al Atlas Interactivo: <http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>
- IEA. (2019). *Electricity Information: Overview*. Obtenido de International Energy Agency: <https://www.iea.org/reports/electricity-information-overview>
- IRENA. (2019). *Global Trends*. Obtenido de International Renewable Energy Agency: <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Costs/Global-Trends>
- Kovalsky, G. (2011). Análisis de la conveniencia de los proyectos MDL en Colombia. *MIC*, 1-10.
- Mantilla, H. A. (2019). *Estrategia para el incremento de energía eólica en el grupo Enel-Emgesa*. Bogotá: Universidad EAFIT.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Impuesto Nacional al Carbono*. Bogotá: DNP Colombia.
- Ocaña, E. (2017). Rediseño de procesos utilizando herramientas técnicas alineadas al enfoque Harrington y ciclo PHVA. *Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 101-108.
- Oliveira, M. d. (2013). *Fundamentos de energía eólica*. Rio de Janeiro: Editorial libros técnicos y científicos Ltda.
- ONU. (2020). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>



- Ortiz, D. (2012). Una revisión a la reglamentación e incentivos de las energías renovables en Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 55-67.
- Owens, B. (2019). *The wind power story. A century of innovation that reshaped the global energy landscape*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Pinilla, Á. (2008). El poder del viento. *Revista de Ingeniería*, 64-69.
- Pitteloud, J. (2019). *Wind energy International*. Obtenido de Global wind installations: <https://library.wwindea.org/global-statistics/>
- Rao, K. R. (2019). *Wind energy for power generation. Meeting the challenge of practical implementation*. Cham: Springer.
- Roca, J. (2020). *Los 10 mayores fabricantes del mundo de turbinas eólicas en 2019: Vestas sigue siendo el rey*. Obtenido de El periódico de la energía: <https://elperiodicodelaenergia.com/los-10-mayores-fabricantes-del-mundo-de-turbinas-eolicas-en-2019-vestas-sigue-siendo-el-rey/>
- Ruiz, X. (2017). *Latinoamérica y España: caminos opuestos en el fomento de las energías renovables*. Valencia: Universidad Internacional de Valencia.
- SSPD. (2017). *Mercado de energía mayorista*. Obtenido de Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios: <https://www.superservicios.gov.co/servicios-vigilados/energia-gas-combustible/energia/mercado-de-energia-mayorista>
- UPME. (2017). *Plan de expansión de referencia generación - transmisión 2017- 2031*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética.
- UPME. (2019). *Subasta CLPE No. 01 - 2019*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética.
- UPME. (2019). *Subasta CLPE No. 02 - 2019*. Bogotá: Unidad de Planeación Minero Energética.