

DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN COLOMBIA

MARIA FERNANDA VILLABONA SALINAS

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA**

DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN COLOMBIA

MARIA FERNANDA VILLABONA SALINAS

Trabajo de tesis para optar al título de Administradora de Empresas

Director:

JUAN DAVID ALTAMAR BARRIOS

Administrador de Empresas

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA**

Tabla de contenido

1. Introducción.....	4
2. Marco teórico	14
3. Desarrollo de la Metodología.....	19
4. Conclusiones	42
5. Bibliografía.....	46

1. Introducción

Actualmente en el planeta se está presentando un gran problema en el ámbito ambiental, como lo es el calentamiento global. Éste es producido por los gases del efecto invernadero (GHG), los seis principales gases considerados son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), el hexafluoruro de azufre (SF₆), hidrofluorocarbonos (HFC) y perfluorocarbonos (PFC) (Echeverría, 2005). Muchos de éstos gases son liberados por las acciones del ser humano, la mayoría proviene de la combustión de combustibles fósiles en los automóviles, fábricas y en la generación de energía eléctrica. Este ha sido el costo en el que se ha incurrido con el fin de garantizar la competitividad de los parques industriales de las naciones.

El planeta se está calentando en su totalidad y los efectos de este calentamiento se están presentando inmediatamente. El pensar en el calentamiento no solo implica el derretimiento de los glaciares, que a veces por ello se tiende a ver como un problema lejano que no afecta a todo el mundo sino a una parte y por ello no se hace nada para tratar de contrarrestarlo, también se presentan algunos cambios en las precipitaciones que afecta la movilidad de los animales, quienes se ven obligados a cambiar de sitio donde viven al cambiar las condiciones del ambiente que los rodea. Por ejemplo, según informe de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), las especies polares se han visto afectadas por la pérdida de hielo y se han visto obligadas a desplazarse hacia el norte para poder sobrevivir, pero algunos casos son diferentes, como ciertos osos polares que no van hacia el norte, sino que se han desplazado hacia el sur y han comenzado a mezclarse con los osos pardos que habitan en el norte de Estados Unidos, dando paso a una nueva especie de osos conocidos como osos “pizzlies”. (IUCN, 2011)

Algunos de los cambios que se están viviendo actualmente son: el hielo se está derritiendo en todo el mundo; ha habido una disminución en la población de los pingüinos, quienes han disminuido su número de parejas reproductoras de 32.000

a 11.000 en los últimos treinta años; se ha presentado un aumento en el nivel del mar; algunas mariposas, zorros y plantas alpinas, se han visto obligadas a reubicarse en zonas más frías; ha habido un cambio en la precipitación, en promedio la lluvia y la nieve han aumentado en todo el mundo (National Geographic, 2011).

Si el calentamiento continúa, también se podrían presentar otros efectos, como: se espera que el nivel del mar aumente entre 18 y 59 centímetros para el final del siglo y el derretimiento de los polos puede agregar entre 10 a 20 centímetros; tormentas y huracanes pueden ser más fuertes; las inundaciones y las sequías se volverán más comunes, debido a los cambios en la precipitación; habrá menos agua dulce disponible en el mundo; se presentará una propagación de enfermedades, como la malaria que es portada y transmitida por mosquitos; los ecosistemas van a cambiar, con todos los cambios algunos animales se moverán más al norte y se acoplarán a las nuevas condiciones del ambiente, pero otros no lo van a lograr generando la extinción de algunas especies. (National Geographic, 2011)

Considerando que el proceso de calentamiento global ya comenzó y se manifiesta de diferentes formas en el planeta, no es posible revertirla de un momento a otro, pero si se puede empezar a actuar para hacer una diferencia en el futuro y evitar algunos efectos mayores que se pueden dar más adelante. Algunas de las soluciones que los investigadores han planteado, son: el ahorro de combustible de vehículos, mejora en la eficiencia energética, aumentar la producción de energía eólica, solar y nuclear¹, el aumento en la producción de biocombustibles, el fin de éstas medidas es reducir la emisión de gases efecto invernadero que hace el hombre. (National Geographic, 2011)

En 1997 se firmó el Protocolo de Kioto, en el cual 39 países se comprometieron a tomar medidas para limitar o reducir la emisión de GHG en los países respectivos,

¹ La energía nuclear no es contaminante por si, son los desechos radiactivos los que contaminan.

también a cooperar con experiencia e información con otros países para lograr un mejoramiento en la situación global (Protocolo de Kioto, 2004). Así, los diferentes gobiernos ya están aplicando políticas y están trabajando en otras formas de producción de energía para que se haga de forma más limpia, para mitigar las emisiones de GHG, ya que en la generación de energía eléctrica depende principalmente de combustibles fósiles los cuales son los principales generadores de gases de efecto invernadero, principalmente el bióxido de carbono (CO₂), pero con la generación de energías renovables la emisión de estos contaminantes disminuye significativamente (Instituto Nacional de Ecología, 2011). También las personas se están concientizando que el problema que se está causando no es ajeno al ser humano y que al final es el que va a estar más afectado si la situación no mejora, por eso se está generando la necesidad de cambio, y tanto empresas como personas deben unirse a éste cambio. Como resultado, ya hay países líderes en la producción de energías renovables, seguidos por otros que también están en el proceso de desarrollo de éstas nuevas energías.

Una de las energías limpias que se ha venido desarrollando exitosamente en todo el mundo, es la energía eólica, que es la energía que se obtiene del viento por medio de unas turbinas ubicadas en sitios donde hay fuertes corrientes de aire. Ha sido tal el desarrollo, que en algunos países y regiones el viento se ha convertido en una de las mayores fuentes de energía.

Según el Consejo Mundial de Energía Eólica (GWEC por sus siglas en inglés) para el 2011 el mercado de creció cerca del 6% comparado con el 2010 y el 40,5 GW de la nueva energía eólica puesta en marcha el año pasado representa inversiones de más de €50 mil millones (cerca de \$68 millones de dólares). En cuanto al crecimiento acumulado a diciembre de 2011 globalmente se alcanzó un 20% con una capacidad instalada de generación de energía eólica de 238 GW comparada con el 2010.

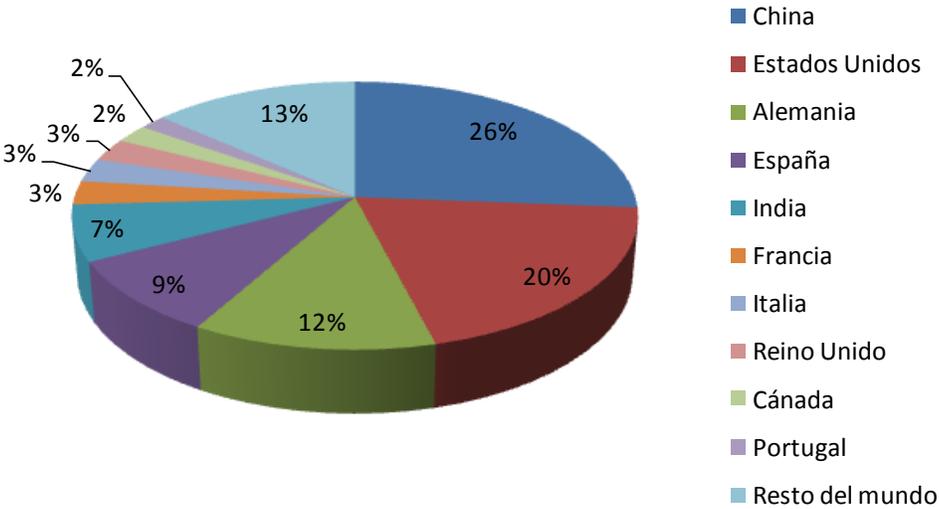
Los principales factores que favorecieron el crecimiento del mercado global fueron las potencias asiáticas China e India. China alcanzó un crecimiento del 43% e

India tuvo un año record en instalaciones, los dos países unidos representaron más del 50% del mercado global en el 2011.

Por otra parte, Brasil está comenzando a desarrollar más esta clase de energía para cumplir con su promesa de desarrollar tipos de generación de energía más limpios y se espera que junto con México sean los mercados que mas crezcan en el hemisferio occidental. También se espera un crecimiento en Sur América ya que finalmente en los países de esta región se está tomando en serio la decisión de entrar en el mercado de energía eólica. (GWEC, 2012)

De esta manera, los líderes mundiales en capacidad de generación de energía eólica acumulada a diciembre de 2011 son:

Gráfica 1. Líderes mundiales en generación de energía eólica.



Fuente: GWEC

A continuación se muestra una tabla de la capacidad (MW) de generación de energía eólica a nivel regional:

Tabla 1. Generación de Energía Eólica a nivel regional.

Africa y Oriente Medio		Final 2010	Nuevo 2011	Final 2011
	Cabo Verde	2	23	24
	Marruecos	286	5	291
	Iran	90	3	91
	Egipto	550	-	550
	Otros	137	-	137
	Total	1.065	31	1.093
Asia				
	República Popular de China	44.733	17.631	62.364
	India	13.065	3.019	16.084
	Japón	2.334	168	2.501
	Taiwan	519	45	564
	Korea del Sur	379	28	407
	Vietnam	8	29	30
	Otros	69	9	79
	Total	61.107	20.929	82.029
Europa				
	Alemania	27.191	2.086	29.060
	España	20.623	1.050	21.674
	Francia	5.970	830	6.800
	Italia	5.797	950	6.737
	Reino Unido	5.248	1.293	6.540
	Portugal	3.706	377	4.083
	Dinamarca	3.749	178	3.871
	Suiza	2.163	763	2.970
	Países Bajos	2.269	68	2.328
	Turquia	1.329	470	1.799
	Irlanda	1.392	239	1.631
	Grecia	1.323	311	1.629
	Polonia	1.180	436	1.616
	Austria	1.014	73	1.084
	Bélgica	886	192	1.078
	Resto de Europa	2.807	966	3.708
	Total	86.647	10.282	96.608
América Latina y El Caribe				
	Brasil	927	583	1.509
	Chile	172	33	205
	Argentina	50	79	130
	Costa Rica	119	13	132
	Honduras	-	102	102
	Republica Dominicana	-	33	33
	Caribe	91	-	91
	Otros	118	10	128
	Total	1.477	853	2.330
América del Norte				
	Estados Unidos	40.298	6.810	46.919
	Cánada	4.008	1.267	5.265
	México	519	50	569
	Total	44.825	8.127	52.753
Región Pacífica				
	Australia	1.990	234	2.224
	Nueva Zelanda	514	109	623
	Islas del Pacífico	12	-	12
	Total	2.516	343	2.859
	Total Mundial	197.637	40.565	237.672

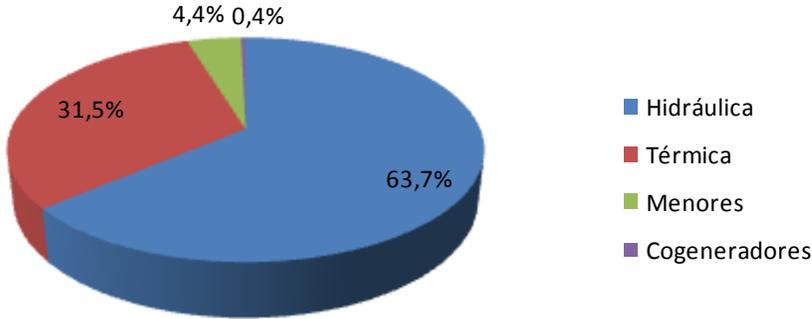
Fuente: GWEC

Se puede observar que el mayor desarrollo de energía eólica se ha dado en los países desarrollados quienes comenzaron este proceso algunos años atrás y han logrado unas estructuras de producción estables, lo cual ha sido posible gracias al desarrollo tecnológico para la producción de energía eólica, a contar con sitios dentro del país donde es propicio para la instalación de las turbinas (regiones que tienen presencia de vientos frecuentes), a la implementación de políticas que impulsan la producción de energías renovables por parte del gobierno, a la unión y cooperación entre varias empresas dentro de el mismo país. (Marín, 2004)

Al igual que en los países industrializados, los países en vía de desarrollo también están buscando la forma de implementar el desarrollo de estas energías, aunque aún no cuentan con todas las condiciones necesarias.

En el caso colombiano, el país cuenta con una rica variedad de fuentes para la generación de energía, según la UPME, para febrero del 2012 el parque de generación del país contaba con una capacidad instalada de generación eléctrica de 14.408 MW, de los cuales 9.185MW corresponde a hidráulica; 4.533MW corresponde a térmica; 635MW corresponde a menores (fuel oil y eólicas); y el restante 55 lo constituyen plantas de cogeneración.

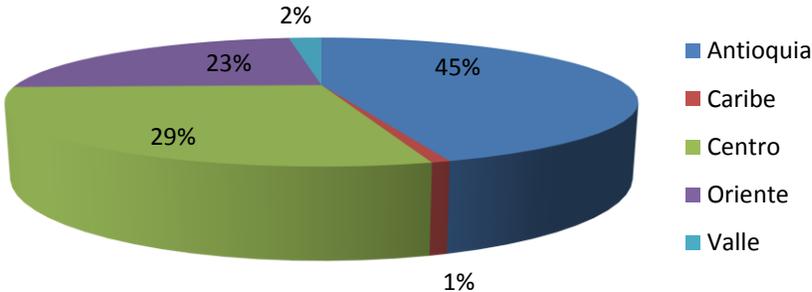
Gráfica 2, Participación de tipo de planta generadoras (%) - Febrero 2012



Fuente: XM
Cálculo: UPME

Por otro lado, la generación eléctrica del país se encuentra concentrada en tres regiones: en Antioquia, que cuenta con una capacidad instalada para la producción de electricidad principalmente hidráulica; en el Centro², que también tiene capacidad instalada mayormente hidráulica y en segundo lugar generación con carbón; y en la Costa Atlántica, donde la generación eléctrica se hace a partir de gas natural en su mayor parte. Como se puede observar en la siguiente gráfica, donde se muestra la distribución regional de generación de energía según XM:

Gráfica 3. Distribución regional de generación de energía en Colombia.



Fuente: XM

Y el país también realiza transacciones internacionales de energía eléctrica con Ecuador y Venezuela. Con Ecuador, se realizan a través de dos líneas de transmisión a 230 kV entre las subestaciones de Jamundí, en Colombia y Pomaski, en Ecuador. Con Venezuela, se efectúan a través de las líneas de transmisión de 230 kV de San Mateo (Colombia) – Corozo (Venezuela), y de Custecitas (Colombia) – Cuatricentenario (Venezuela). Por medio de estas interconexiones se ha exportado e importado energía entre estos países, lo cual ha brindado confiabilidad a los sistemas de potencia y ha ayudado a cubrir los déficits que en algunas ocasiones han afectado el suministro del servicio de electricidad. También se espera que en el futuro se pueda establecer

² La región central de Colombia, la conforman Boyacá, Meta, Tolima y Cundinamarca

interconexiones con Panamá y así entrar en el mercado centroamericano de energía eléctrica. Actualmente las transacciones internacionales que realiza el país, representan:

Tabla 2. Transacciones Internacionales

Interconexiones Internacionales (GWh)	feb-11	feb-12
Importaciones	0,03	0,11
Exportaciones	126,24	32,15

Fuente: XM - Resumen Ejecutivo de Febrero 2012

Aparte de lo anterior, actualmente en el país se están llevando a cabo algunos proyectos para aumentar la producción de energía para el año 2014 a 16.234 MW, con la construcción de seis centrales hidroeléctricas (Quimbo, Amoyá, Miel II, Hidrosogamoso y Porce III) y tres centrales térmicas (Gecelca 3, Termocol y Flores IV), esto con la finalidad de garantizar el suministro suficiente de energía dentro de todas las regiones del país (UPME, 2011).

En cuanto al Sistema de Transmisión Nacional (STN)³, en el país se cuenta con aproximadamente 24.109 km de líneas de transmisión, de los cuales 2.398 km corresponden a las mayores líneas de 500 kV, 11.622 km son líneas de 230 kV y 10.074 km están constituidos por líneas de 115 kV.

Con relación al Sistema Interconectado Nacional (SIN)⁴, a finales del año 2009 el consumo del sector residencial constituía el 41,2% del total nacional; seguido del sector industrial con 30,9%; el 25% correspondía al sector terciario y el sector transporte, alumbrado público y otros constituían el 2,9%. Se tiene que en total en

³ STN es el sistema interconectado de transmisión de energía eléctrica compuesto por el conjunto de líneas, con sus correspondientes módulos de conexión, que operan a tensiones iguales o superiores a 220 kV.

⁴ SIN es el sistema compuesto por los siguientes elementos conectados entre sí: las plantas y equipos de generación, la red de interconexión, las redes regionales e interregionales de transmisión, las redes de distribución, y las cargas eléctricas de los usuarios.

el año 2009 la demanda nacional de energía eléctrica del SIN ascendió a 54.679 GWh y durante los años 2000-2009 la demanda nacional creció a una tasa media anual de 2,9%, valor que fue afectado por los bajos crecimientos que se presentaron durante la crisis económica de los años 2008-2009. Además, el servicio de energía eléctrica se presta en zonas no interconectadas (ZNI)⁵ y otros agentes, los cuales son principalmente industriales, producen su propia energía esencialmente con generadores diesel. Se estima que para el año 2009 el consumo de este tipo de agentes logre una magnitud de 7.074 GWh.

Teniendo en cuenta las tendencias recientes y las coyunturas recientes del consumo, la UPME prevé un crecimiento promedio anual de 3,7% de la demanda total de energía eléctrica en el país, entre los años 2009 y 2020. A nivel sectorial, prevé que el sector residencial va a tener un crecimiento medio de 2,2%, perdiendo participación frente a los sectores terciario e industrial, los cuales tendrán crecimientos de 5,6% y 4% respectivamente.

De acuerdo a lo anterior, se puede decir que:

1. La demanda de energía eléctrica en el país va en crecimiento.
2. Hay temporadas de lluvia en las que la generación hidráulica no es muy efectiva y se hace necesaria la generación por otro medio (en la actualidad se acude a la generación por medio de recursos no renovables).
3. En los últimos años ha aumentado la preocupación de personas y entidades alrededor del mundo por el bienestar del planeta y la preservación de los recursos que en él hay.
4. Colombia es un país donde las energías renovables no han tenido un gran desarrollo.

⁵ Algunos ejemplo de ZNI, son Leticia (Amazonas), Morales (Cauca), Solita (Caquetá), en los que se han venido trabajando proyectos por parte del gobierno mas exactamente del Fondo de Apoyo para las Zonas No Interconectadas.

Con esto se evidencia la necesidad de buscar generación de electricidad por medio de otras fuentes, siendo actualmente alrededor del mundo las energías renovables una alternativa muy llamativa y que además se ha desarrollado con éxito en diferentes países, por lo cual algunas empresas del país han comenzado a buscar formas de producción más limpias de energía, siendo la energía eólica una de las primeras en desarrollarse por iniciativa de Empresas Publicas de Medellín (EPM), quien desarrolló un proyecto piloto de generación de energía eólica, llamado Parque Eólico Jepirachi.

Este parque se creó por varias razones: debido a que el viento es una fuente de energía limpia, renovable y amigable con el medio ambiente; la producción de energía eólica cuenta con una tecnología que ha tenido un amplio desarrollo en los últimos años alrededor del mundo; las políticas ambientales en el mundo cada vez favorecen más el desarrollo de este tipo de energías; y porque Colombia tiene un potencial eólico tanto en la península de la Guajira como en el centro del litoral Caribe en Bolívar, la Isla de San Andrés y algunos sectores de Boyacá, siendo el primero el sitio más adecuado para el desarrollo de la energía eólica. El Parque Eólico Jepirachi, está conformado por 15 aerogeneradores con capacidad de 1.3 MW cada uno, para un total de 19.5 MW de capacidad instalada en el parque. Este parque comenzó a funcionar en el año 2004 y después de ese año no se ha dado ningún avance en el país con respecto al desarrollo de la energía eólica.

Aunque Colombia cuenta con un gran potencial eólico (sólo en la región de La Guajira tiene un potencial de 18 GW), el cual sería suficiente para suplir más de dos veces la demanda nacional de energía (Banco Mundial, 2010), se ha presentado un estancamiento de la generación de energía eólica en el país, lo cual ha evidenciado que no se cuenta con las condiciones necesarias para que el avance en este tipo de energía se de satisfactoriamente.

Teniendo en cuenta el panorama mundial, hacen que se piense en generar energía por medio de fuentes renovables. Además, teniendo en cuenta que el

parque industrial de cada país evoluciona en la medida en que aumentan la generación de energía, es necesario que en Colombia haya una renovación o transformación energética que permita la evolución del parque colombiano, lo cual va de la mano del desarrollo de nuevas formas de energía y al ser la energía eólica una de las más desarrolladas y utilizadas en otros países, sería ideal que en el país se comenzara a avanzar más en la generación de este tipo de energía.

2. Marco teórico

El desarrollo de la energía eólica en el mundo ha venido aumentando tanto en su capacidad de producción como tecnológicamente, actualmente se cuentan con tecnologías más avanzadas que hacen cada vez más fácil y más económico la producción de este tipo de energía. Económicamente los gobiernos y las empresas privadas han contribuido al desarrollo de la energía eólica, por medio de exenciones, subsidios, créditos con bajo interés, con lo que se ha logrado que en los últimos años haya más eficiencia en la producción de este tipo de energía. Para conocer más sobre el desarrollo que ha tenido esta energía por la parte económica, es necesario analizar los costos de inversión, los costos de generación en los que se incurre con la energía eólica, así como también conocer la forma en que se establece el precio de ésta.

El costo de inversión para producir energía eólica es, según la Asociación Europea de Energía Eólica, el costo promedio por kW de capacidad instalada de energía eólica varía entre 900 €/kW a 1150 €/kW. La turbina por si sola comprende cerca del 80% del costo total, el resto está dado por los tres temas principales (los cimientos, la instalación eléctrica y la conexión a la red), y otros gastos que se tienen son la tierra, la construcción de carreteras, consultoría y costos de financiamiento. Los otros elementos principales de costo en generación de electricidad por medio de energía eólica son la operación y el mantenimiento (O&M). Como no hay costos de combustible, los costos de O&M incluyen

mantenimiento regular, reparaciones, seguros, piezas de repuesto y administración. Debido a que pocas maquinas tienen más de 20 años, no hay información exacta disponible, pero por ejemplo, para una maquina nueva, los costos de O&M podrían tener una participación promedio durante la vida útil de la turbina de un 20 a 25 % del costo total por kW producido. Aunque actualmente los fabricantes de turbinas están intentando reducir estos costos de manera significativa a través del desarrollo de diseños de turbinas nuevas que requieran menos visitas de mantenimiento regular, de esta forma reducir también el tiempo de inactividad, también la tendencia hacia turbinas eólicas más grandes reduce costos de operación y mantenimiento por kW producido. (European Wind Energy Association, 2010)

En cuanto al costo de generación en total, según estudio de la Asociación Europea de Energía Eólica, el costo de electricidad generada por energía eólica, según cálculos realizados en el 2003, es de aproximadamente 4 a 5 centavos de €/kW en los sitios con buena velocidad del viento, de 6 a 8 centavos de €/kW en sitios con baja velocidad del viento. A un sitio con buena velocidad del viento se refiere a una ubicación costera con viento a una velocidad promedio de 6.9 metros por segundo, a una altura de 50 metros sobre el nivel del suelo; los sitios considerados con una velocidad media, tienen un promedio de velocidad de 6.3 m/s; y los sitios con baja velocidad del viento, tienen un promedio de 5.4 m/s. El cálculo de estos costos está basado en las siguientes suposiciones:

- Una turbina nueva de tamaño medio con una capacidad de 850 – 1500 kW.
- Los costos de inversión están en un intervalo de 900 a 1100 €/kW.
- Los costos de operación y mantenimiento están en un promedio de 1.2 centavos de €/kW sobre una tiempo de vida de 20 años.
- Una tasa de descuento de 7.5% por año.

Desde que se comenzó el desarrollo y generación de energía eólica hasta hoy, se han logrado grandes reducciones en los costos, debido al desarrollo que se ha alcanzado en tecnología. El costo promedio de una turbina costera ha disminuido

de aproximadamente 8.8 centavos de €/kW (para una turbina de 95 kW, instalada a mediados de 1980) a 4.1 centavos de €/kW (para una turbina reciente de 1000 kW), así se observa una reducción en los costos para la electricidad obtenida por medio de energía eólica, en más del 50% en los últimos 20 años. (European Wind Energy Association, 2010). Por lo tanto, en el futuro, se espera que los costos de generación de energía eólica sean menores, debido a que en la actualidad se siguen desarrollando por medio de la investigación y la práctica de nuevas y mejores tanto turbinas como procesos para la generación de esta energía limpia. Y también basándonos en el método de la “curva de aprendizaje”, según el cual las empresas después de producir un bien por más de un periodo aprenden a hacerlo mejor, logrando un aumento en la productividad gracias a la experiencia; de acuerdo a esto se puede inferir que en el futuro la industria va a lograr una mayor productividad de las turbinas a un precio menor que el actual. (Webb, 2002)

Después de analizar los costos en los que se incurre para la generación de energía, se puede entrar a estudiar la forma en que se establece el precio, para lo cual se debe tener en cuenta no solo los costos nombrados anteriormente, sino también los costos de entrega. Cuando el propietario de un parque eólico vende la electricidad producida por el parque, el Acuerdo de Poder Adquisitivo, normalmente especificará los plazos para la entrega, el punto de entrega y el nivel de voltaje para la entrega. El acuerdo de compra de energía puede ser un contrato de precio fijo, un contrato de precio indexado (indexado con el índice de precios al consumidor), o simplemente entrar al mercado local, regional o nacional. Ya dependiendo del sitio en donde este y de los contratos involucrados, el propietario del parque eólico tendrá que asumir algunos riesgos y el comprador de la electricidad, otros. Por lo tanto no hay un único precio que se pueda cobrar por la energía eólica, el precio que un propietario de una turbina eólica pide, depende de los costos en que incurre tanto en la generación como en la entrega, y también de los riesgos que tiene que asumir. (European Wind Energy Association, 2009)

En Colombia la barrera en la parte económica, es que es un país que recientemente entró en el desarrollo de energía eólica y en menor cantidad de

producción, por lo que aún no cuenta con experiencia técnica sobre el tema, ni se cuenta con investigaciones significativas que aporten alguna mejora o avance al proceso de generación de energía eólica. Por tanto, para implementar la energía eólica en el sistema energético del país, se entraría en costos trayendo tecnología de afuera, al igual que soporte técnico. Por ejemplo, las turbinas que se necesitan para producir energía eólica tienen un precio alto y ha presentado un aumento a través del tiempo, subió de US\$700/KW en el año 2000-2002 a US\$1240/KW en el 2007 y en el 2008 fueron aumento aún más a US\$2200/KW (Banco Mundial, 2010). Aunque los precios han estado al alza, se espera que debido a los avances tecnológicos que se han tenido los precios bajen en el futuro.

En cuanto al modelo de despacho de energía, el principal problema que se tiene para integrar la energía eólica es, que la velocidad del viento futuro (que es la fuente de alimentación para el sistema de conversión de energía eólica) es desconocida. Aunque también se podría decir lo mismo sobre la volatilidad de los precios de las fuentes de energía convencionales, como el carbón o petróleo, sobre la carga del sistema futuro, al ser también desconocidos, su variabilidad es mucho menor que el de la velocidad del viento futuro. (John Hetzer, 2008)

Si los generadores de energía pertenecen al operador del sistema que está realizando el despacho económico, hay poco o cero costo adicional relacionados con los generadores de energía eólica, éste costo adicional es la base de un despacho económico, así que de manera efectiva, el operador del sistema tendrá que usar toda la energía eólica disponible. Por otro lado, debido a la incertidumbre en la disponibilidad de la energía eólica en el futuro, incluso si el operador del sistema es el dueño de los generadores de energía eólica, el modelo de despacho de energía debe proporcionar algún tipo de control sobre los horarios de energía eólica, y por esto el modelo debe tener en cuenta la reserva necesaria en caso de que la energía no esté disponible. (John Hetzer, 2008)

En un modelo de despacho económico para incluir aerogeneradores se desarrolla por medio del uso de conceptos de la teoría de conjuntos difusos. A las

ecuaciones de despacho clásico de la energía, los autores le añaden un costo de multa por no usar la capacidad de energía eólica disponible. Se define una frontera difusa de viento, donde los valores del viento por debajo de un cierto mínimo se consideran totalmente aceptables por motivos de seguridad y los valores del viento por encima de un cierto máximo son considerados inaceptables por razones de seguridad del sistema. Los valores dentro de estos límites forman la frontera difusa, donde el valor de pertenencia va de 1 para el valor mínimo a 0 para el valor máximo. (John Hetzer, 2008)

El modelo de despacho dado en su forma más general, consiste en que el operador del sistema tendrá ciertos generadores convencionales y ciertos generadores eólicos disponibles. Debido a la incertidumbre que puede haber de energía eólica disponible en un momento dado, los factores por sobreestimación y subestimación de la energía eólica disponible deben ser incluidos en el modelo. El factor de sobreestimación es si una cierta cantidad de energía eólica es acordada y esa energía no está disponible en el momento acordado, la energía faltante debe ser comprada en una fuente alterna o se cargaran cargos; y en el caso de la subestimación, es cuando la energía eólica es más de lo que se suponía, esa energía se desperdicia y el operador del sistema debe pagar un costo a el productor de energía eólica por el desperdicio de la capacidad disponible. La energía eólica excedente se vende a empresas de servicios públicos adyacentes, o por reexpedición rápido y control automático de ganancias. (John Hetzer, 2008)

Por otro lado, teniendo en cuenta que las políticas gubernamentales, es uno de los factores que más influyó en otros países para el avance en el desarrollo de la energía eólica esta intervención se realizó por medio de políticas e incentivos, pero en Colombia esto se ha convertido en una barrera, ya que aún no existe una ley que regule como tal estas nuevas formas de producción energética y que incentive la incorporación de los recursos renovables a el sistema energético. Según esto el país puede comenzar a utilizar medidas fiscales, como exenciones o reducción en impuestos, para beneficiar e incentivar a las empresas interesadas en invertir en generación de energía eólica.

Finalmente hay una barrera en cuanto a la parte técnica, al no haberse desarrollado en gran manera la energía eólica en el país se cuenta con prácticamente ninguna experiencia técnica para la implementación de esta forma de energía limpia, por lo tanto, es necesario comenzar el estudio y especialización sobre el tema para poder identificar que maquinaria es la más adecuada para el país dependiendo de la zona en que se vayan a ubicar, la velocidad y dirección del viento en esa zona, además de aprender el correcto manejo de las maquinarias y de la supervisión que se debe tener.

3. Desarrollo de la Metodología

Teniendo en cuenta el liderazgo de países como China, Dinamarca (cuenta con la mayor capacidad de energía eólica per cápita) y Alemania, es necesario estudiar los cambios que estos países realizaron tanto técnicos como en sus sistema legal y económico para la implementación de este tipo de energía, con el fin de considerar los cambios que son necesarios realizar en Colombia para fomentar e impulsar la producción de energías renovables y especialmente la energía eólica.

En primer lugar se analizará el aspecto legal, en segundo lugar el aspecto técnico y por último el aspecto económico, teniendo en cuenta la experiencia que se ha tenido en los tres países.

En Alemania se ha desarrollado la energía eólica exitosamente gracias tanto a su desarrollo tecnológico, como a su estructura regulatoria y de incentivos que se implementó como estrategia gubernamental a partir de la instauración de la ley de energía renovable (LER), con lo que busca lograr una participación de éstas energías de al menos el 20% en el suministro de energía del país para el 2020 y del 50% para el 2050. Algunos de los puntos que trata la Ley de Energías Renovables (LER), son:

- El pilar de ésta ley es la obligación de los operadores de red de dar prioridad a la compra de electricidad exclusivamente obtenida de fuentes de energía renovable y el establecimiento de precios mínimos con el fin de dar un trato preferencial a los vendedores sobre los compradores de la generación de este tipo de energía. La lógica general de la Ley es promover la generación de electricidad obtenida de fuentes de energía renovable por medio del fomento de la inversión privada en el sector.
- Teniendo en cuenta que se considera que los parques eólicos marítimos harán una contribución más importante en la producción de electricidad que los parques eólicos terrestres, para el caso específico de Alemania, debido a las condiciones poco fiables de los parques terrestres y también al gran impacto negativo que tienen en la naturaleza y el paisaje; la LER introdujo un sistema para la disminución de incentivos financieros para las turbinas eólicas terrestres y aumentarlos para las turbinas marítimas.
- Para fomentar el desarrollo de energías renovables y proveer un marco legal estable para la inversión, la LER estableció una tasa mínima fija de retorno sobre la electricidad generada a partir de instalaciones de energía eólica marítima, a su vez, estas instalaciones necesitan autorización para su construcción, operación y conexión a una red de electricidad. La ordenanza estipula que la licencia debe ser negada si el proyecto pone en peligro el tráfico o el ambiente marítimo, incluyendo si representa un peligro para las aves migratorias.
- Con el Protocolo de Kyoto, Alemania aceptó tener una reducción de los gases efecto invernadero del 21% para el año 2012 comparado con los generados en el año 1990. Para alcanzar la meta establecida se han utilizado varios métodos e instrumentos como establecer impuestos sobre la energía, impulsar fuentes de energía renovable y eficiencia en la energía. (Roggenkamp, Redgwell, Guayo, Ronne, 2007)

La LER ha causado efectos positivos en el sector de energía eólica en Alemania, como lo son: la generación de empleo, un efecto costo-beneficio positivo para el usuario final, y tanto la tecnología como los fabricantes de equipos asociados con la generación de energía eólica también han experimentado cambios positivos ya que muchos han entrado a la revolución de las centrales virtuales, han mejorado su sistema de gestión de carga y las estrategias de almacenamiento de energía. (Isaac, Biechl, González, 2008)

Por otro lado, China también ha trabajado en el desarrollo de energías renovables y ha logrado posicionarse como el número uno del mundo en generación de energía eólica, para esto uno de los aspectos que se ha tenido en cuenta ha sido el legal y desde el año 2005 se introdujo en el país la Ley de Energías Renovables (LER), que trata los siguientes puntos principalmente:

- *Fijación de precios de la energía eólica conectada a la red y políticas de costos compartidos.*

Según la LER, el establecimiento de los precios de la energía conectada a la red, para los proyectos de energías renovables debe ser determinada por las autoridades encargadas de la fijación los precios del Consejo de Estado con base en las características únicas de los diferentes tipos de generación de energía por fuentes renovables así como de las diferentes condiciones locales, también se debe realizar de acuerdo con los principios que determinan la razonabilidad económica y con el fin de promover el desarrollo de las energías renovables y su utilización. El precio que se establezca a la energía conectada a la red se debe hacer público.

En cuanto a los gastos incurridos por las empresas que compraron unidades de potencia de la energía renovable, la variación en exceso entre el margen de gasto y el cálculo de los gastos por el precio de potencia media conectada a la red de generación convencional de energía, debe ser compensada con un

impuesto sobre las ventas a nivel nacional sobre el precio de las unidades de potencia de la energía renovable. (Li, Shi, & Gao, 2010)

- *Políticas de financiamiento público.*

El apoyo de las finanzas públicas es un sistema de gestión de fondos de garantía para la fijación de precios de la conexión a la red y la participación en los gastos, así como un medio importante para apoyar financieramente el desarrollo industrial a través de las tecnologías, la investigación y el desarrollo de pruebas y demostración.

El Fondo de Desarrollo de Energía Renovable (establecido por las autoridades nacionales de finanzas públicas) utiliza los reembolsos derivados de las disposiciones sobre los gastos marginales que se nombraron anteriormente, y se utiliza para apoyar las siguientes actividades: i) investigación científica y tecnológica, la formulación de normas y proyectos de demostración para el desarrollo de las energías renovables y su utilización; ii) proyectos de utilización de la energía renovable en zonas agrícolas; iv) construcción de sistemas de energía eléctrica independientes en áreas de tierra remotas y en islas; v) construcción de sistemas de exploración para energía renovable provenientes de recursos naturales y su evaluación; vi) promoción para la producción de equipos para el desarrollo y utilización de las energías renovables. (Li, Shi, & Gao, 2010)

- *Políticas fiscales preferenciales.*

Con base en los precios y gastos de participación en los costos de un sistema de apoyo de las finanzas públicas, la finalidad de estas políticas es avanzar más en el establecimiento de incentivos financieros que fomenten el desarrollo de la energía eólica.

El gobierno garantiza beneficios fiscales a proyectos que desarrollen energías renovables como: i) a las empresas que tengan una baja rentabilidad y cumpla con las condiciones prescritas, el impuesto sobre la renta empresarial se aplica

a una tasa reducida del 20%; ii) en cuanto a importantes empresas de alta tecnología que necesiten apoyo del Estado, el impuesto sobre la renta empresarial se aplica a una tasa reducida del 15%. (Li, Shi, & Gao, 2010)

- *Políticas preferenciales para empresas de inversión extranjera.*

Una empresa mixta (compuesta por capital chino y extranjero) puede disfrutar de un trato preferencial en la reducción o exención de impuestos de conformidad con las leyes estatales pertinentes a impuestos o decretos administrativos.

Una empresa extranjera mixta que reinvierte en China su participación del beneficio neto puede solicitar un reembolso de una parte de los impuestos sobre la renta que ya han sido pagados. (Li, Shi, & Gao, 2010)

Otro país que ha modificado su sistema regulatorio ha sido Dinamarca, que se ha convertido en un país líder en el desarrollo de tecnología para la generación de energía eólica, son pioneros en la exportación de equipos utilizados para la generación de este tipo de energía y es el país en mayor producción de energía eólica per cápita.

En cuanto a los lineamientos legales, en el país se han establecido con base en el objetivo de alcanzar con el tiempo una mayor participación de la energía eólica en la red eléctrica del país, buscando que para el año 2015 se logre una participación del 35% en el total nacional. Para lo cual se han establecido leyes como:

- *Ley de Promoción de las Energías Renovables.*

Dinamarca promueve la generación de energías renovables por medio de una prima sobre la tarifa. Los operadores del sistema reciben un bono variable que proviene del precio que se vende al consumidor final, conocido como la Obligación de Servicio Público⁶. La suma de los bonos y del precio del

⁶ La Obligación de Servicio Público es un tributo recaudado para apoyar la energía renovable y es calculado por Energinet.dk de acuerdo al consumo que registren las personas.

mercado no debe exceder un máximo estatutario, el cual depende de la fecha de conexión al sistema y la fuente de energía usada.

Para la energía eólica la Ley cubre tanto generación en tierra como en las costas. Para plantas en tierra, se garantiza un bono de 0,25 DDK/kWh por 22.000 horas cargadas; y el bono máximo (financiado por empresas de servicios públicos) es de 0,33 DDK/kWh que aplica por 10 años desde la fecha de conexión al sistema. En cuanto a las plantas que se encuentran en las costas, para los parques eólicos hay un subsidio máximo que depende de la localización del parque: 0,518, 0,629 o 1,051 DDK/kWh para un total de 10 TWh, limitado a 20 años a partir de la fecha de conexión a la red; y la financiación por parte de las empresas de servicios públicos, será de un subsidio máximo de 0,353 DDK/kWh que aplica por 42.000 horas cargadas. (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2011)

- *Regulación de Medición neta.*

Los productores de electricidad que utilizan la totalidad o parte de la electricidad producida para sus propias necesidades están exentos del pago de Obligación de Servicio Público.

Para la energía eólica esta regulación aplica solo si el sistema está conectado a un sistema de oferta privado y si la planta de energía eólica produce más de 25kW. Los costos que se generan con esta medida son cubiertos por el presupuesto gestionado por Energinet.dk. (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2011)

- *Préstamos (garantías de préstamos para las iniciativas locales de construcción de sistemas de energía eólica).*

La Ley de promoción de Energías Renovables subsidia iniciativas locales y se brinda incentivos a grupos locales para la construcción de sistemas de energía

eólica. Energinet.dk ofrece garantías para los préstamos obtenidos por las asociaciones locales de propietarios de las plantas eólicas y otros grupos de iniciativa local para financiar estudios de viabilidad previos a la construcción de sistemas de energía eólica. Energinet.dk ha dispuesto un presupuesto de 10 millones DKK (aproximadamente €1,3 millones) para ofrecer estas garantías, y cada garantía cubrirá la mayoría del préstamo en cuestión, con una garantía máxima de 500.000 DKK por proyecto. (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, 2011)

En cuanto la situación de Colombia, actualmente hay algunas leyes ambientales que promueven proyectos que fomenten el buen uso de la energía y el uso de energías no convencionales, como:

- La ley 697 de 2001, mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas.
- La ley 99 de 1993, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental (SINA).
- La ley 788 de 2002, mediante la cual se logró la obtención de incentivos económicos mediante exenciones tributarias para la importación de bienes y equipos que ayuden al desarrollo de la tecnología eólica.

Estas leyes no son lo suficientemente fuertes para lograr que en el país se incremente la generación de energía eólica y no son tan claras en cuanto a la protección del medio ambiente con el desarrollo de este tipo de tecnología.

De acuerdo a lo anterior, se evidencia un gran problema en Colombia para la generación de energía eólica, como lo es la ausencia de una normatividad ambiental clara y adecuada a las circunstancias, como también una regulación

que considerara de manera precisa el recurso eólico para la inserción de este tipo de generación en el Mercado de Energía Mayorista (MEM)⁷.

Un segundo aspecto importante que se debe tener en cuenta para la generación de energía eólica es el técnico, el cual se ha desarrollado muy bien en otros países que comenzaron a desarrollar esta industria aprendiendo, ahora son líderes en este tipo de tecnología y ésta representa un importante ingreso económico al vender esta tecnología a países que comienzan a interesarse en desarrollar las energías limpias.

Es importante entender que las turbinas eólicas dentro de los parques eólicos funcionan como parte del sistema de producción y consumo de energía eléctrica, por lo tanto, es parte de la red eléctrica de determinado país. El proceso técnico de integrar la energía eólica dentro del sistema, incluye decisiones sobre: donde instalar las turbinas, conexión de las turbinas al sistema de alimentación de energía, y la operación de la turbina. De la misma manera que el diseño de la turbina y su operación deben tener en cuenta los diversos tipos de interacciones entre turbinas y sistemas interconectados. Las turbinas eólicas pueden ser instaladas en unidades o en grandes conjuntos conocidos como “parques eólicos”. (Manwell, McGowan, Rogers, 2009)

Lo primero que se debe hacer es determinar cuál es el lugar más conveniente para su instalación, buscando maximizar la obtención de energía, mientras se minimizan el ruido, impactos visuales y ambientales, y costo global de la energía. Los pasos que se deben seguir para realizarlo son:

⁷ MEM es el encargado de la administración del Sistema de Intercambios Comerciales -ASIC- mediante el registro de los contratos de energía a largo plazo; de la liquidación, facturación, cobro y pago del valor de los actos o contratos de energía en la Bolsa por generadores y comercializadores.

Liquida y Administra las Cuentas de Cargos por uso de las Redes del Sistema Interconectado Nacional -LAC- realizado el cálculo de ingresos y compensaciones de los transportadores y distribuidores, la liquidación y facturación de cargos para comercializadores y la gestión financiera del proceso.

1. *La identificación de las áreas geográficas que requieren ser estudiadas.* Identificar las áreas que cuentan con un alto promedio de velocidad del viento, mediante atlas⁸ u otras formas de medición del viento, también se debe tener en cuenta los tipos o diseños de las turbinas para establecer la velocidad de viento mínima que es útil.
2. *Seleccionar los sitios candidatos.* Es necesario escoger los sitios con viento potencial y donde la instalación de una o más turbinas de viento parezcan ser practicas en cuanto a la ingeniería y aceptada por los diferentes puntos de vista del público. En este paso es importante obtener información por medio de consideraciones topográficas, observaciones ecológicas (funciona mejor en las regiones costeras, los valles de los rio y en las quebradas que presentan una fuerte canalización de viento), modelaciones en computador, modelos meteorológicos de mesoescala, métodos estadísticos para evaluar el recurso eólico, además de considerar problemas geológicos, sociales y culturales.
3. *Evaluación preliminar de los sitios candidatos.* Cada sitio potencial es clasificado de acuerdo a su potencial económico y los sitios más viables son examinados para identificar algún impacto ambiental, saber la aceptación del público, su seguridad y los problemas operativos que puedan afectar negativamente la idoneidad del sitio para la instalación de las turbinas eólicas.
4. *La evaluación final del sitio.* Para los mejores sitios restantes, es necesario realizar una medición más exhaustiva del recurso eólico que incluyan además de la velocidad del viento, también las direcciones imperantes, la temperatura (con el fin de determinar la intensidad del aire y el potencial para la formación de hielo), y la intensidad de la turbulencia del viento.
5. *Micrositing.* Una vez que el sitio es escogido, es importante determinar la ubicación exacta para las turbinas y la cantidad de energía que van a producir. Este proceso debe poder hacerse por medio de aplicaciones de software que puedan modelar el campo de viento y las múltiples variaciones aerodinámicas

⁸ Esta constituido por un conjunto de mapas, en donde se muestra la velocidad y capacidad del viento en las regiones de estudio, son usados principalmente como base de información para el desarrollo de proyectos de producción de energía eólica.

entre turbinas que afectan la captación de energía. (Manwell, McGowan, Rogers, 2009)

Después de escoger el sitio exacto, se debe comenzar con el proceso de instalación y operación. La instalación de un proyecto de energía eólica es un proceso complejo que encierra un número de pasos y algunos problemas técnicos y legales, que se muestran a continuación:

1. *Adquisición de los permisos necesarios.* El proceso de desarrollo que incluye garantizar los derechos legales sobre la tierra (si la tierra no pertenece al dueño del proyecto) y acceso a líneas eléctricas, comenzando por alinear los acuerdos de compra de energía y la obtención de permisos. Los permisos generales que se deben obtener (sin importar el país donde se desarrolle) son los que se relacionan con construcción, emisión de ruido, uso de la tierra, conexión a la red, temas ambientales (aves, erosión del suelo, calidad del agua, eliminación de desechos, y aspectos relacionados con los humedales), seguridad pública, seguridad laboral, y sitios de interés cultural o arqueológicos.
2. *Preparación del sitio para la instalación y operación de las turbinas.* Una vez se han obtenido los permisos, se deben construir las vías, ya que el sitio debe estar despejado para la entrega, montaje y levantamiento de las turbinas, también se deben instalar las líneas eléctricas y construir los cimientos.
3. *El transporte de la turbina.* Las turbinas más pequeñas pueden ser empacadas en contenedores para transportarlas fácilmente por las carreteras, pero las turbinas más grandes deben transportarse por partes y montarse en el sitio donde se van a instalar.
4. *Montaje y levantamiento de las turbinas.* Los aspectos relacionados al montaje y levantamiento deben ser considerados en la etapa de diseño para poder minimizar los costos de instalación. Lo que facilita que esta parte sea fácil es el tamaño y el peso de la turbina, la disponibilidad de una grúa con el tamaño apropiado.

5. *Conexión a la red.* La conexión de la turbina a la red eléctrica consiste en conductores eléctricos, transformadores, e interruptores que permiten la conexión y desconexión. Todo este equipo debe ser térmicamente clasificado para soportar la corriente esperada y los conductores eléctricos deben ser lo suficientemente grandes para minimizar las caídas de tensión entre la turbina y el punto de conexión (POC, por sus siglas en inglés)⁹.
6. *La puesta en marcha.* Las turbinas de viento se deben poner en funcionamiento antes de que el dueño de la turbina tome el control de la operación de la turbina. Este proceso consiste en: i) realizar las pruebas¹⁰ apropiados para asegurarse del correcto funcionamiento de la turbina y ii) el entrenamiento de mantenimiento y operación al propietario u operador de la turbina.
7. *Operación de la turbina.* La exitosa operación de una turbina o parque eólico requiere: i) sistemas de información para monitorear el desempeño de la turbina, llamados SCADA (por sus siglas en inglés) que significa sistema de supervisión, control y adquisición de datos, ii) entendimiento de factores que reducen el desempeño de la turbina, y iii) medidas para maximizar la productividad de la turbina.
8. *Mantenimiento y reparación.* Los componentes de la turbina eólica requieren mantenimiento regular e inspección para asegurarse que el aceite de lubricación está limpio, los sellos están funcionando, y que los componentes que están sujetos a procesos normales de desgaste sean cambiados.

Al terminar el proceso es importante prever los aspectos de seguridad, así después de que las turbinas están instaladas es necesario que se asegure un ambiente seguro de trabajo para el personal de operación y mantenimiento, así como también debe ser operado de una forma en que no se ponga en riesgo a las comunidades aledañas. Los aspectos de seguridad incluyen protección contra

⁹ El Punto de Conexión (POC), es un término usado comúnmente para indicar la conexión de la red a la frontera del terreno del propietario de la turbina de viento.

¹⁰ Pruebas eléctricas, de lubricación y del sistema de freno.

contacto con electricidad de alto voltaje, protección contra rayos que puedan causar daños sobre el personal o la turbina, protección contra los efectos de la acumulación de hielo en la turbina o el desprendimiento del hielo, provisión de equipos para escalar torres de forma segura, y luces para advertir en la noche al tráfico aéreo de la existencia de una turbina eólica. (Manwell, McGowan, Rogers, 2009)

Teniendo como referencia a China, Dinamarca y Alemania, es necesario estudiar los avances tecnológicos que estos países han tenido y las condiciones que han permitido alcanzar el desarrollo que tienen actualmente referente a la generación de energía eólica.

En Alemania, para el final del año 2010 se contaba con 21.607 turbinas eólicas con una capacidad instalada de 27.215 MW, de las cuales 754 nuevas turbinas con una capacidad de 1.551 MW fueron instaladas ese año. La contribución de la energía eólica al consumo neto de electricidad de Alemania es de 6,2% y se espera que para el 2050 sea del 80% (incluyendo todas las formas de generación de energías renovables). (German Wind Energy Association, 2012)

Para lograr esta alta producción de energía eólica, Alemania cuenta técnicamente con buenos instrumentos como los atlas de viento que están disponibles a nivel nacional y regional, por ejemplo una buena visión global se puede tener con el Sistema de Información de Energías Renovables, el cual está conectado a IWES Kassel. Information y tiene disponible datos de medición e información referente a las condiciones del viento y resultados operacionales en Alemania. De acuerdo a la información que se tiene disponible, muestra que los sitios más apropiados para que se instalen turbinas eólicas son las zonas costeras, la zona norte (con velocidades que llegan a alcanzar los 8m/s a 80m de altura) y la zona sur (especialmente en las regiones montañosas), por esto los proyectos que se han desarrollado en Alemania se han ubicado principalmente en la zona norte y las áreas costeras, en el sur del país no ha sido igual porque en esta zona existen

restricciones por razones de protección del paisaje. (German Wind Energy Association, 2012)

En este país también han tenido mejoras técnicas en cuanto a las conexiones a la red, de acuerdo a experiencias operativas que los llevaron a investigar y a desarrollar métodos necesarios para superar los inconvenientes que se han presentado, siendo algunos de ellos:

- La excesiva cantidad de generación eólica en la franja nor-central de Alemania, provocando múltiples problemas en el sistema de transmisión y se han superado los límites térmicos de las líneas.
- Se ha identificado que algunos corredores críticos para la transmisión se encuentran en las regiones de Schleswg-Holstein y Lower Saxony (en el norte del país).
- Según estudios realizados sobre la estabilidad de tensión, frecuencia y pequeña señal, se detectó un posible déficit de potencia reactiva, lo cual evidencio la vulnerabilidad que tenía el sistema. (Isaac, Biechl, Gonzalez, 2008)

Con base en estos problemas que se identificaron, se aplicaron cambios al sistema, como.

- En las zonas con corredores críticos para la transmisión fue necesario realizar mejoras a la red de 110kV y en cuanto a la transmisión de la potencia de los futuros parques *off-shores* a los grandes centros de carga como Ruhr y Frankfurt, los entes planeadores pensaron en líneas de extra alta tensión (EHV).
- Se incluyeron modificaciones mucho más exigentes al código de conexión, siendo la principal de ellas, el endurecimiento de los requerimientos dinámicos de los aerogeneradores en régimen de falla y como medidas adicionales, la recalibración de las protecciones de baja frecuencia a 47.5 Hz, la implementación

de compensadores estáticos de potencia reactiva (SVC) y de equipos FACTS para mejorar la respuesta dinámica de la red. (Isaac, Biechl, González, 2008)

Por otro lado, el caso de China es un poco distinto debido a que a pesar de ser un país joven en cuanto al desarrollo y generación de energías renovables, el crecimiento de la energía eólica en el país, siendo el país con mayor producción de este tipo de energía con 44.733 MW de capacidad instalada en el 2010, ha impulsado la producción interna de turbinas eólicas y sus componentes, debido a esto la industria manufacturera China ha madurado rápidamente. Lo anterior ha llevado al país a posicionarse como el productor de equipos para energía eólica más grande del mundo y los componentes hechos en China comienzan a no solo satisfacer la demanda interna, sino que también las necesidades internacionales. (GWEC, 2010)

A pesar de que el desarrollo tecnológico ha sido grande en cuanto a equipos para la generación de la energía eólica, el país tiene un problema que afectaría su producción futura de este tipo de energía y tiene que ver con la conexión a la red eléctrica. Los parques eólicos de China se encuentran principalmente en las zonas alejadas de los centros de carga y donde la red conexión a la red es relativamente débil, por lo que el diseño actual de los lugares de redes limitan el desarrollo de la energía eólica, esto se ha convertido en el problema más grande para el futuro desarrollo de este tipo de energía en el país.

Para esto, tres aspectos deben abordarse en relación con la integración a la red:

- El primero, es la debilidad de la red en sí, la construcción especializada de líneas de transmisión de larga distancia para satisfacer las necesidades de desarrollo de energía eólica y solar a gran escala, es ahora parte vitalmente necesaria de la infraestructura energética del país.
- El segundo, es la renuencia de las compañías para aceptar la energía eólica en su red, a pesar de que la LER exige a las compañías de energía adquirir altos volúmenes de generación de energía renovable, con el fin de alcanzar un

8% de la proporción de la generación de energía renovable en su producción para el 2020, estas provisiones no se cumplen. Además, no existe ningún tipo de presión para que las empresas acepten la entrada de estas energías limpias, ya que no hay castigo si las empresas no aceptan la generación de energías renovables en su red y no hay indemnización por la pérdida de negocios de energía eólica.

- El tercero, es la compatibilidad de la energía eólica con los requerimientos para la conexión a la red, por esto China necesita seguir ejemplos de otros países que producen igualmente grandes cantidades de energías renovables, los cuales han implementado estándares técnicos y regulaciones para la integración de estas energías en el sistema de red eléctrico. Por otra parte, también es importante la integración en el país de un sistema que ayude a la previsión del potencial eólico. (GWEC, 2010)

En el caso de Dinamarca, el cual es un país que empezó a desarrollar fuertemente el sector energético en la década de los 70, por lo que ahora cuentan con un sector de energía bien desarrollado.

Las partes oriental y occidental del país aún no están interconectados entre sí, de esta forma Dinamarca occidental se sincroniza con Alemania y la red de Europa, y Dinamarca oriental se sincroniza con el sistema escandinavo (llamado NORDEL), que comprende Finlandia, Noruega y Suecia. Una característica importante de los dos sistemas es la gran escala de inter conectores, en relación con los sistemas daneses, y las capacidades de estos conectores son iguales o mayores a las capacidades de las turbinas de viento en ambos sistemas. (CEPOS, 2009)

Dinamarca fue el primer usuario a gran escala de la energía eólica y fue un líder mundial en fabricación de turbinas eólicas hasta que ésta se convirtió en una fuente de electricidad popular “libre de CO₂” en el resto del mundo, desde entonces la fabricación de turbinas eólicas comenzó a expandirse fuera de

Dinamarca. Entre los años 1998 y 2003, el país en su conjunto construyó 3.160 MW de capacidad eólica. (CEPOS, 2009)

En Dinamarca, la energía eólica se exporta en gran cantidad a medida que se produce, el bajo consumo de esta energía que se produce dentro del país, se debe a que por causa de la falta de almacenamiento de electricidad a gran escala, cualquier sistema eléctrico moderno debe equilibrar continuamente la oferta y la demanda de electricidad. Un exceso de oferta sobre la demanda se traducirá en que exista más energía en la red que está siendo utilizado, esto hará que el exceso de voltaje y la frecuencia de corriente alterna se eleve por encima del nivel seguro. Por el contrario, poca oferta sobre la demanda daría lugar a poca energía en la red para la demanda momentánea, esto provocaría una caída de voltaje y frecuencia de la red por debajo del nivel seguro. Incluso pequeñas variaciones en el sistema de voltaje y la frecuencia puede causar daños a los equipos electrónicos modernos y equipos eléctricos, por lo cual es una prioridad importante del operador del sistema de transmisión mantener un equilibrio muy estrecho y continuo entre la energía que entra al sistema y la energía que es consumida. Como resultado se tiene para el año 2008, una exportación más alta del 57% del occidente del país, 42% del oriente de Dinamarca y un consumo interno de energía eólica de tan solo 12%. Y esto también es posible gracias a que las redes interconectadas de los países vecinos cuentan con un sistema de mayor potencia al de Dinamarca. (CEPOS, 2009)

En cuanto a Colombia, el país cuenta con un atlas que muestra la distribución en el espacio del viento en superficie y también el potencial eólico con el que cuenta el país. En los mapas de vientos (los cuales conforman el atlas) se presenta el promedio tanto mensual como anual del viento, acompañado de dos momentos estadísticos de orden superior como la desviación estándar y el sesgo para cada uno de los meses y en el caso de la energía, se establece el valor promedio mensual y anual de la densidad de energía eólica a dos distintas alturas, que sirven como referencia para Colombia, debido a que aportan conocimiento para el

uso de energías alternativas, indicando épocas del año y zonas del país donde podría ser mas aprovechable el recurso eólico para dar soluciones a la necesidades energéticas en el país. También, aporta información del comportamiento del viento en algunos sitios de referencia para dimensionar futuros proyectos como parques eólicos para la generación de energía eléctrica, especialmente para aquellas zonas donde las redes de transporte y distribución de energía no son asequibles. (UPME, IDEAM, 2006)

Por otra parte, el desarrollo de la tecnología eólica en si, no ha tenido un gran desarrollo en Colombia, no se cuenta con el conocimiento técnico de la producción de turbinas eólicas ni de el equipo de soporte necesario para su funcionamiento, al igual que al no haber comenzado el desarrollo en el país en gran manera de la energía eólica tampoco se cuenta con el conocimiento necesario para operar las turbinas eólicas ni la tecnología relacionada con el tema.

Finalmente, se estudia el aspecto económico, como aspecto final que influye en la generación de energía eólica.

En las proyecciones del escenario global, se ha establecido que el producir altos volúmenes de electricidad por medio de energía eólica atraerá considerables niveles de inversión. El costo de capital de producir turbinas eólicas se ha reducido de forma constante durante los últimos 20 años y los diseños de las turbinas se ha concentrado en el modelo triple hoja con velocidad variable y regulación de la hélice de paso. Con la experiencia, las técnicas manufactureras han sido optimizadas, así la producción en masa y la automatización han resultado en economías de escala. (GWEC, 2010)

Los costos de desarrollo en los escenarios desde la perspectiva global de la energía eólica están basados en la suposición de costos capitales decrecientes por kilovatio de capacidad instalada, debido al aumento en la implementación, lo cual acelera el progreso tecnológico e incrementa las economías de escalas en la

manufactura, lo que termina en costos más bajos de equipos. De esta forma, entre mas unidades se produzcan mas rápido será el progreso, se proyecta que el costo de turbinas eólicas disminuya mas rápido en el Escenario Avanzado y no tan rápido en el Escenario de Referencia. (GWEC, 2010)

Los costos de capital por kilovatio de capacidad instalada son en promedio de €1.350 por kW en 2009. En el Escenario de Referencia, estos costos se reducirán gradualmente a €1.240 por kW para el 2020 y €1.216 para el 2030. Y en el Escenario Avanzado, los costos disminuirán más rápido para alcanzar €1.093 por kW en el 2030.

Teniendo en cuenta los altos costos iniciales de los proyectos de energía eólica, tanto de las grandes inversiones privadas como de los fondos públicos se espera obtener un crecimiento en los mercados de energía eólica. Esta inversión beneficiará directamente el desarrollo regional mediante la creación de puestos de trabajo en la industria manufacturera, el transporte, la construcción, el desarrollo de proyectos, operación y mantenimiento; proporcionando nuevas fuentes de ingresos tanto a los dueños de las tierras como a los agricultores o comunidades; e incrementando la base de impuestos local. El valor de la inversión en el futuro mercado de energía eólica se prevé en este escenario, ha sido evaluado sobre una base anual. (GWEC, 2010)

En un Escenario de Referencia el valor anual de las inversiones globales en equipos de energía eólica se reduce en casi la mitad de €51,8 billones en 2009 a sólo €26,6 billones en 2015, y luego vuelve a subir para llegar a los niveles actuales después de 2030. En un Escenario Moderado, el valor anual de la inversión global en la industria de la energía eólica se eleva desde €53,5 billones de dólares en el 2010 a €79,1 billones en 2015 y €106,5 billones para el 2020. Las inversiones aumentan rápidamente durante los siguientes 10 años para alcanzar los € 166 billones para el 2030. En un Escenario Avanzado, el valor anual de la

inversión global aumenta rápidamente de €57,5 billones en 2010 a €109,1 billones para el 2015, y alcanza un máximo de € 202 billones en el 2030. (GWEC, 2010)

A pesar de que estas cifras son grandes, deben verse en el contexto del nivel total de inversión en la industria mundial de energía, dónde en la década de los 90, por ejemplo, la inversión anual en la industria se estaba ejecutando en cerca de €158-€186 billones anualmente. (GWEC, 2010)

Teniendo como ejemplo la situación actual de China y Dinamarca, se va a estudiar más a fondo los cambios y logros que han tenido en la parte de desarrollo económico referente a la energía eólica, para conocer que prácticas los han llevado a ser exitosos en el tema.

En China, antes de la introducción de la LER en el año 2005, la tarifa pagada por la red de electricidad generada por la energía eólica se basó por mucho tiempo en un precio aprobado. Esto también se dividió en dos partes, incluyendo un precio de capital e intereses y un precio promedio de tasa de retorno.

En 1994, se decidió que las compañías que administran la red, deberían permitir la conexión de plantas de energías eólicas a la red mas cerca y la electricidad generada debería ser comprada en su totalidad. La tarifa de la red debería ser determinada por los costos de generación de energía, capital e intereses, y una ganancia razonable. De esta manera, la diferencia que existía entre el precio de la energía eólica y el precio promedio de la electricidad se compartirían a través de toda la red, y la producción comprada y manejada por la compañía de energía; y puesto que los intereses de los inversores fueron asegurados, se permitió el comienzo del desarrollo comercial de las plantas de energía eólica. (GWEC, 2010)

Con la profundización de las reformas a la industria energética, también se vio la necesidad de una reforma en el sistema de precios. El objetivo de la reforma de los precios es la progresiva “separación de las plantas de los operadores de la red,

la conexión a la red por la competencia de precios”, así, antes de realizar la “conexión a la red por competencia de precios” la Comisión de Planificación del Estado decidió hacer los ajustes apropiados para el método por el cual se calculan las tarifas de la red, con el fin de limitar el aumento en los costos de energía y disminuir el precio pagado por la electricidad proveniente de la energía eólica.

De acuerdo con el documento de Anuncios de la Comisión Estatal de Planificación, en cuanto a la regulación del manejo del precio de la luz (Ji Jia Ge, 2001, No. 701), los proyectos de generación de energía son necesarias para calcular una tarifa promedio de red basada en la razonabilidad de los rendimientos reales de los operadores sobre un número de años. Además, la energía eólica fue incluida por primera vez en la lista de preferencias fiscales, expedida por la misma Comisión en el año 2001, lo cual significa que el desarrollo de las plantas de energía eólica cuenta con la mitad del nivel normal del impuesto al valor agregado, concesión que se ha mantenido hasta el día de hoy. (GWEC, 2010)

En el 2003, para avanzar en el desarrollo a gran escala de la energía eólica, la Comisión de Desarrollo y Reforma organizó la primera ronda de licitación para una concesión de energía eólica nacional, esto introdujo un mecanismo de competencia en el desarrollo de plantas de energía eólica y permitió que la tarifa pagada por la red para la electricidad generada fuera determinada por medio de licitación. Cinco rondas de licitación de concesión se completaron hasta el 2007 y la capacidad total instalada alcanzada fue de 3,35 GW, en cuanto al precio, este en general fue inferior a la de otros proyectos aprobados, por lo cual el objetivo de reducir la tarifa de la red se cumplió. (GWEC, 2010)

En el 2006, la CNRD¹¹ emitió una regulación, en el que propone que el precio de conexión a la red para la energía eólica use el precio guía del gobierno, este precio fijo debe fijarse por el departamento de control de precios del Consejo del

¹¹ Centro de Recursos Naturales y Desarrollo (por sus siglas en inglés)

Estado, de acuerdo al precio resultante de la licitación. Muchas provincias, como *Guangdong*, adoptaron la política de precios fijos para decidir el precio de referencia para la energía eólica en sus áreas, lo cual significa que durante este periodo existían diferentes políticas de precios para la energía eólica, incluyendo: el precio de licitación, el precio fijo y el precio aprobado. (GWEC, 2010)

Con el establecimiento de marcos legales que cubre la conexión a la red, la asignación de gastos y subsidios que resultan de la licitación de concesiones, especialmente a través de los requisitos de la LER y el Plan de Desarrollo a Mediano y Largo Plazo para las energías renovables, la capacidad instalada de la energía eólica en China casi se duplicó durante los cuatro años siguientes al 2006, fue así como cientos de plantas de energía eólica fueron construidas en todo el país y se iniciaron siete grandes bases con capacidad de 10 GW de energía eólica en el noroeste, norte y noreste del país, como también en la zona costera de la provincia de Jiangsu.

De acuerdo a lo anterior, se consideró razonable establecer un precio fijo a la tarifa de la red para la energía eólica, con variaciones según la calidad del recurso eólica en diferentes regiones. La CNDR emitió la noticia de Mejora de la Política de Precios para la Energía Eólica (Fa Gai Ge Jia, 2009, No.1906), esta es la primera política de precio fijo para la energía eólica en China, se estableció en un estándar unificado de precios, que define un retorno específico sobre la inversión e influencia indirecta, y estandariza el progreso de plantas de energía eólica en todo el país. El resultado de esta política fue que el desarrollo de la energía eólica en China, entrara en una etapa madura y de mayor escala. (GWEC, 2010)

Hasta la introducción de los nuevos cargos en las tarifas para la energía eólica que se realizó en el año 2009, el país contaba con un sistema de doble vía para los proyectos eólicos. Por un lado, tenían un proceso de concesión de licitación y por otro lado, con un proceso de 'aprobación del gobierno' proyecto por proyecto. Los cargos en las tarifas establecidas en el 2009 ahora sustituyen ambos

procesos, pero no los proyectos 'basados en viento' y el nuevo desarrollo costa afuera. De esta manera, se cuentan con cuatro diferentes categorías de tarifas en función de los recursos eólicos de una región, que van desde 0,51 RMB/kWh a 0,61 RMB/kWh¹².

No solo el cargo en la tarifa es comparable a la de los aranceles aprobados por el gobierno durante los últimos años en la mayoría de las regiones y sustancialmente mas altos que la mayoría de los aranceles concedidas bajo el antiguo sistema de concesión, este es establecido considerablemente mas alto que el arancel pagado por el carbón despedido de la electricidad, lo que ayuda a reequilibrar el atractivo de las inversiones en estas dos tecnologías. Además, el sistema de cargo en la tarifa se aplica para todo el periodo de funcionamiento de un parque eólico, ofreciendo a los inversores una perspectiva más clara a largo plazo. (GWEC, 2010)

Por su parte Dinamarca se conoce por contar con la carga tributaria más alta del mundo, la cual aplica tanto para los ingresos personales como para los impuestos de valor agregado. Los impuestos y cargos sobre la electricidad para los consumidores domésticos daneses, hace este consumo de electricidad domestico el más caro de la Unión Europea (UE).

En contraste y para mantener la industria danesa competitiva, la energía usada por la industria era apenas gravada, así la diferencia entre lo que pagan los hogares y lo que paga la industria es muy amplia, los hogares daneses pagan 2,5 veces más que la industria danesa. De esta forma, una fracción significativa de los impuestos y cargos que pagan los consumidores domésticos de energía en el país es reservada para apoyar la investigación de nuevas formas de energía y el cargo sobre la tarifa es lo que hace atractiva la industria para que individuos y empresas inviertan en energía eólica del país. También el sistema de primas de

¹² Equivalente a €5,9 – 7,1 centavos/kWh en septiembre de 2010

apoyo para las turbinas de viento ha sido el elemento clave de la expansión de la energía eólica danesa desde que se comenzó a desarrollar. (CEPOS, 2009)

La naturaleza y la cantidad de la ayuda están sujetas a constante revisión y cambio, así como se expanda la energía eólica y a la evolución que se dé en los precios del mercado. El gobierno danés establece las tarifas de soporte a niveles en que haya equilibrio entre el logro de los objetivos políticos del gobierno que este al mando en el momento y el miedo de pagar en exceso a los que están disfrutando de la generosidad de los contribuyentes y los consumidores. (CEPOS, 2009)

En el 2009, el sitio web de la Agencia Danesa de la Energía, anunció que el nivel de apoyo para la electricidad producida a partir de turbinas de viento se incrementó en el verano de 2008. Las nuevas turbinas eólicas tanto en tierra como en alta mar reciben un precio de 25 øre/kWh para las 22.000 horas de carga completa, y adicional 23 øre/ kWh en toda la vida útil de la turbina para compensar el costo de equilibrio.

Las turbinas de viento de los hogares por debajo de 25 kW reciben un cargo ajustado en la tarifa de 60 øre/ kWh. Para los parques eólicos especiales en el mar, el apoyo se establece mediante un proceso de licitación, por ejemplo, en licitaciones anteriores el parque eólico Horns Rev II de 200 MW terminó con un cargo ajustado en la tarifa de 51,8 øre/ kWh en 50.000 horas de carga completa, mientras que el parque eólico Rodsand II de 200 MW terminó con un arancel fijo de 62,9 øre/ kWh por 50.000 horas de carga completa. (CEPOS, 2009)

Desde 2001, la distribución del subsidio a los generadores eólicos y otros titulares del subsidio para las energías renovables, se hace por los operadores de sistemas de transmisión a través de un mecanismo llamada la obligación de servicio público, el cual es un proyecto financiado por los cargos e impuestos que pagan los consumidores domésticos por la energía. (CEPOS, 2009)

4. Conclusiones

En Alemania, Dinamarca y China, se ha desarrollado la energía eólica de una forma exitosa, debido a los cambios que hicieron en el sector energético en cuanto a la reglamentación, el desarrollo de maquinaria y tecnología que fue necesaria para trabajar en la producción de energía eólica, como también en la política fiscal, todo con el fin de permitir la entrada de inversión en el sector, motivar la inversión y hacer que aumentara grandemente la generación de este tipo de energía en cada uno de los países, cada uno realizó sus propios cambios teniendo en cuenta las características propias de cada región. Lo cual ha convertido a estos países en modelo a seguir para cualquier país que tenga intenciones de comenzar la generación de energías renovables.

Es notable el desarrollo que han tenido las energías alternativas en diferentes países del mundo y debido a la tendencia ambiental que se ha venido adoptando globalmente, es importante que Colombia también comience a tomar conciencia de la importancia de cuidar del medio ambiente, para lo cual la generación de energía eólica haría una gran contribución a la vez que se desarrolla una nueva tecnología. Con la que se puede lograr un desarrollo técnico del sector energético, como también la creación de empresas especializadas en el desarrollo de este tipo de tecnologías.

Debido a las barreras que el país tiene para la generación de este tipo de energía, es importante que se realicen cambios y se implementen nuevas reglamentaciones y tecnologías para el desarrollo exitoso de la energía eólica y su integración al mercado energético del país, algunas propuestas son:

1. El gobierno debe establecer metas concretas sobre la reducción de gases efecto invernadero, para que de esta forma se comience a trabajar con una meta fija a lograr.

2. El gobierno debe promover el desarrollo de la energía eólica por medio de los instrumentos fiscales, tales como:
 - Reducción en los impuestos de renta a las empresas o personas que desarrollen iniciativas de generación de esta energía, de esta forma se incentivará la inversión en la producción de energía eólica.
 - Creación de cargos sobre la tarifa de la electricidad producida por medio de la energía eólica (cargo que pagará el consumidor final), de esta forma las personas que la producen recibirán un mayor pago por su producción y se incitará a que cada vez mas empresas y personas generen estas energías limpias.

3. Crear mecanismos de financiación para que las personas interesadas en desarrollar la energía eólica puedan acceder a ellos fácilmente, con unas tasas de interés bajas, con el fin de promover el desarrollo de esta energía dentro del país.

4. Hacer reformas en el sistema regulatorio de la energía en el país, con el fin de:
 - Garantizar la igualdad de la energía que se genera por medio del viento, frente a las demás formas de producción que existen actualmente en Colombia, que en su mayoría proviene de plantas de generación hidráulica y el resto se obtiene por medio de combustibles fósiles. Al depender de la generación hidráulica, durante las épocas de sequía que se presentan en el país es necesario contar con plantas de generación firme, si no se contara con estos recursos los consumidores deberían ser racionados, lo cual traería mayores costos sobre la economía y el bienestar de la población. De acuerdo a lo anterior, fue indispensable implementar un esquema de remuneración que permitiera hacer viable la inversión en los recursos de generación de energía necesarios para atender la demanda de manera eficiente cuando se presenten condiciones críticas de abastecimiento hídrico, por esto a partir de 2006 se creó el Cargo por Confiabilidad, que

reemplazo al Cargo por Capacidad, los cuales buscan hacer viable la generación de energía en momentos críticos mediante la estabilización de los ingresos del generador. (CREG, 2012)

Por lo cual es importante buscar un mecanismo que también llegue a sustentar la generación de energía eólica, ya que visto desde el Cargo de Confiabilidad no es posible que acoja a la generación de electricidad por medio de energías renovables.

- Promover el desarrollo de energías limpias en el país, por medio de pago de un costo de sostenibilidad, de forma que las formas de producción contaminantes paguen una multa al utilizar formas de producción contaminantes y por el contrario las formas de producción libre de contaminación (limpias), reciban un subsidio para su producción, creando de esta forma un equilibrio en el sistema.
5. Aprovechar los atlas de vientos con los que cuenta actualmente el país, para identificar las zonas mas adecuadas en cuanto a circulación de viento y conexión a la red eléctrica del país, también es necesario hacer estudios ambientales y trabajos con la comunidad, para asegurarse que las zonas escogidas son ideales para desarrollar este tipo de energía en lo que tiene que ver con el cuidado del medio ambiente y que no afecte a ninguna población aledaña.
 6. Motivación de parte del gobierno para que haya una mayor investigación por parte de universidades y entidades privadas, de forma que se comience a desarrollar la tecnología en cuanto a creación de turbinas eólicas, equipo de soporte y conocimiento de todo el proceso de generación. Para lograrlo es importante que también se tome como base el desarrollo y experiencia de otros países, para tratar de adaptarlo a Colombia.

7. Utilizar la investigación y el desarrollo de la tecnología interna en la generación de energía eólica, para disminuir los costos que se dan en su producción, ya que después que se han cubierto los costos de instalación de turbinas eólicas, sólo se tendrá que cubrir los costos de mantenimiento de las maquinarias y de operación. Así que si en Colombia se logra el desarrollo de estos equipos (turbinas eólicas y equipos de soporte) y teniendo en cuenta que es lo más costoso, se podrá obtener un bajo costo a largo plazo en la producción de este tipo de energía renovable.

8. El establecimiento de los precios se debe dar de acuerdo a las especificaciones técnicas de la producción de viento, de la zona en que se realice y el gobierno debe buscar la forma más fiable de establecerlos. Después de establecerlo es importante asegurar que se instaure un cargo a los consumidores finales por ser energía producida de forma limpia, teniendo en cuenta que este cargo no debe ser muy alto, para que haya una buena demanda; y de la misma forma asegurar al productor un mayor precio por la producción de electricidad que se haga por este método, para motivar a la inversión en la generación y que así haya una buena oferta de energía eólica.

5. Bibliografía

Association, C. W. (2011). *Global Wind Energy Council*. Retrieved Marzo 03, 2012, from Global Wind Energy Council Web site: <http://www.gwec.net>

Association, W. W. (2011). *World Wind Energy Report 2010*.

CEPOS, C. f. (2009). *Wind Energy the case of Denmark*. Copenhagen: CEPOS.

Council, G. W. (2012). *Annual Market Update 2011*. Bruselas: Global Wind Energy Council.

Council, G. W. (2008). *Global Wind Report 2008*. Bruselas: Global Wind Energy Council.

Council, G. W., & Greenpeace. (2010). *Global Wind Energy Outlook 2010*. Bruselas: Global Wind Energy Council.

CREG. (2012). *Comisión de Regulación de Energía y Gas*. Retrieved Abril 27, 2012, from Comisión de Regulación de Energía y Gas Web site: <http://www.creg.gov.co>

CREG. (2011). *CREG*. Retrieved Agosto 25, 2011, from CREG Web site: <http://www.xm.com.co>

Echeverría, M. (2005). *Kioto y el Comercio de Derechos de Emisión de Gases de Efecto Invernadero en Europa y en España*. Boletines PSOE.

Isaac, A., Helmuth, B., & González, J. (2008). *La Energía Eólica en Alemania: Experiencias a tener en cuenta para el caso Colombiano*. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana.

Jiang, L., Chi, Y., Qin, H., Pei, Z., Li, Q., Liu, M., et al. (2011). Wind Energy in China. *Power and Energy Magazine* , 36-46.

John Hetzer, D. C. (2008). An Economic Dispatch Model incorporating Wind Power. *Transactions on Energy Conversion* , 603, 604.

Li, J., Shi, P., & Gao, H. (2010). *China Wind Power Outlook*. Bruselas: Global Wind Energy Council.

Marín, C. E. (2004). *La Energía Eólica en España*. España: Universidad de Alicante.

Mintzberg, H. A. (1998). Strategy safari: a guided tour through the wilds of strategic management. In H. A. Mintzberg, *Strategy safari: a guided tour through the wilds of strategic management*. New York: The Free Press .

National Geographic. (2011). Retrieved Septiembre 1, 2011, from <http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/?source=NavEnvGloba>

Roggenkamp, M. R. (2007). Energy Law in Europe. In M. R. Roggenkamp, *Energy Law in Europe* (pp. 694-710). Reino Unido: Oxford University Press.

Schroth, G. (2011). *Germany, Country Report*. Berlin: German Wind Energy Association.

UPME. (2011). *UPME*. Retrieved Septiembre 21, 2011, from UPME Web site:
<http://www.upme.gov.co>

UPME, & IDEAM. (2006). *Atlas de Viento y Energía Eólica de Colombia*. Bogotá: UPME.

Vergara, W., Deeb, A., Toba, N., Cramton, P., & Leino, I. (2010). *Wind Energy in Colombia*. Washington D.C.: World Bank.