



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERIA

**IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA EÓLICA EN
AVIFAUNA Y MURCIÉLAGOS; SOLUCIONES Y MEDIDAS
PARA SU MITIGACIÓN**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

ENERGÉTICA - PLANEACIÓN Y POLÍTICA ENERGÉTICA

P R E S E N T A :

LUIS MARTIN GOMEZ ROCHA

TUTOR:

M. EN C. ODON DE BUEN RODRIGUEZ

2009



JURADO ASIGNADO:

Presidente: **DR. JOSÉ LUIS FERNÁNDEZ ZAYAS**
Secretario: **M. EN C. ODÓN DE BUEN RODRÍGUEZ**
Vocal: **DRA. CLAUDIA SHEINBAUM PARDO**
1er. Suplente: **DR. ARTURO GUILLERMO REINKING CEJUDO**
2do. Suplente: **DR. DAVID MORILLÓN GÁLVEZ**

Lugares donde se realizó la tesis:

MÉXICO, DISTRITO FEDERAL.

TUTOR DE TESIS:

M. EN C. ODÓN DE BUEN RODRÍGUEZ

Índice

Introducción General	1
Antecedentes	1
Hipótesis	5
Objetivo General	6
Objetivos particulares	6
Justificación	7
Estructura del Trabajo	8

Capítulo 1: Energías Renovables: Aprovechando la Coyuntura Energética Mundial

1.1	Introducción	9
1.2	Objetivos particulares del Capítulo 1	11
1.3	Qué son las Energías Renovables	12
1.3.1	Origen de las Energías Renovables	12
1.3.2	Definición de las Energías Renovables	13
1.4	Situación actual de las Energías Renovables en el Entorno Mundial	14
1.4.1	Agencia Internacional de las Energías Renovables, IRENA	16
1.4.2	Potencial de Aprovechamiento de las Energías Renovables a Escala Mundial	17
1.4.3	Casos Exitosos de Promoción de Energías Renovables	18
1.5	Situación Actual de las Energías Renovables en México	20
1.5.1	Las Energías Renovables en el Balance Nacional de Energía 2007	21
1.5.2	Sistemas Fotovoltaicos	23
1.5.3	Energía de la Biomasa	24
1.5.4	Energía Minihidráulica	24
1.5.5	Energía Eólica	25
1.5.5.1	Evolución y Estado actual del Aprovechamiento de la Energía Eólica en México	25
1.5.5.2	Historia de los Desarrollos y Aplicaciones de la Energía Eólica en México	25
1.5.5.3	El Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México	28
1.5.5.4	Comisión Federal de Electricidad y el Desarrollo Eoloeléctrico en México	30
1.6	Conclusiones Particulares del Capítulo 1	32

Capítulo 2: Energía Eólica: Liderazgo en el Aprovechamiento de las Energías Renovables a Escala Mundial

2.1	Introducción	33
2.2	Objetivos particulares del Capítulo 2	35
2.3	Origen del Recurso Eólico	36
2.3.1	La Energía en el Viento	37
2.3.2	Clasificación de la Potencia del Viento	38

2.4	Evolución y Estado Actual del Aprovechamiento de la Energía Eólica en el Ámbito Mundial	39
2.4.1	Capacidad Instalada de Energía Eólica a Escala Global	39
2.4.2	Ventajas de la Energía Eólica respecto a otras Fuentes Energéticas	42
2.4.3	Políticas Exitosas en la Promoción de la Energía Eólica	43
	2.4.3.1 Caso: Unión Europea	43
	2.4.3.2 Caso: Estados Unidos	45
	2.4.3.3 Caso: Países Asiáticos	47
	2.4.3.4 Caso: Latinoamérica	47
2.5	Avances Tecnológicos en el Aprovechamiento de la Energía Eólica	48
2.5.1	Desarrollo de Rotores	48
2.5.2	Mejoras de los Álabes	49
2.5.3	Diseño de las Cajas de Engranajes	50
2.6	Aspectos Económicos del Aprovechamiento de la Energía Eólica	51
2.6.1	Costos Involucrados en el Desarrollo de la Energía Eólica	51
2.6.2	Costos de Instalación de la Energía Eólica	53
2.6.3	Costos de Operación y Mantenimiento de la Energía Eólica	54
2.6.4	Costos de Generación de la Energía Eólica	55
2.6.5	Otros Beneficios Económicos Asociados con la Energía Eólica	58
2.7	México, un País con Gran Recurso Eólico	60
2.7.1	Potencial de Aprovechamiento del Recurso Eólico en México	60
2.7.2	Atlas del Recurso Eólico de Oaxaca	63
2.8	Conclusiones Particulares del Capítulo 2	66

Capítulo 3: Comprendiendo el Impacto Ambiental en Avifauna y Murciélagos

3.1	Introducción	67
3.2	Objetivos particulares del Capítulo 3	69
3.3	Beneficios Ambientales de la Energía Eólica	70
3.3.1	Análisis del Ciclo de Vida del Aprovechamiento de la Energía Eólica	70
3.3.2	Importancia de la Energía Eólica en el Contexto del Cambio Climático Global	72
3.3.3	Eficacia de la Energía Eólica en la Mitigación de CO ₂	73
3.3.4	La Energía Eólica y los Mecanismos de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto	75
3.4	Impactos Ambientales de la Energía Eólica	77
3.4.1	La Afectación del Uso de Suelo	78
3.4.2	Modificación y Pérdida del Hábitat de Avifauna y Murciélagos	79
3.4.3	El Impacto Visual	79
3.4.4	Problemas Relacionados al Ruido	81
3.5	Poniendo en Perspectiva las Fatalidades de Avifauna	83
3.6	Poniendo en Perspectiva las Fatalidades de Murciélagos	88
3.6.1	Barotrauma en Murciélagos	91
3.7	Comparación del Posible Impacto Ambiental de la Generación Eoloeléctrica sobre la Avifauna y Murciélagos con otros Factores Antropogénicos	92
3.7.1	Fatalidades Aviares por Colisión con Estructuras Antropogénicas	92
3.7.2	Impacto de Otras Fuentes de Energía en la Avifauna	94
3.7.3	Efectos del Cambio Climático Global en la Avifauna	95
3.8	Conclusiones Particulares del Capítulo 3	98

Capítulo 4: Soluciones y Medidas para la Mitigación del Impacto Ambiental en Avifauna y Murciélagos

4.1	Introducción	100
4.2	Objetivos particulares del Capítulo 4	102
4.3	Factores que mitigan de manera natural el riesgo de colisión de aves migratorias, residentes y murciélagos	103
4.3.1	Caso: Aves migratorias	103
4.3.2	Caso: Aves residentes	105
4.3.3	Caso: Murciélagos	106
4.4	Medidas de Planeación y Monitoreo Previas al emplazamiento de las Centrales Eoloeléctricas	107
4.4.1	Importancia de la Selección de Sitios	107
4.4.2	Distanciamiento entre aerogeneradores	109
4.4.3	Factores de consideración en los aerogeneradores	112
4.4.4	Estimación del riesgo potencial de fatalidades	114
4.5	Tecnologías propuestas para prevenir las colisiones de avifauna con aerogeneradores	118
4.5.1	Métodos visuales	118
4.5.1.1	Patrones de pintado	118
4.5.1.2	Uso de Pinturas ultravioletas	120
4.5.2	Dispositivos y métodos sonoros en los aerogeneradores	121
4.6	Lineamientos, Guías y Pautas alrededor del mundo para minimizar el impacto de la energía eólica en avifauna y murciélagos	122
4.6.1	Proyecto de Norma Oficial Mexicana	124
4.6.1.1	Consideraciones para un Reporte Preventivo adecuado para la Norma	126
4.7	Conclusiones Particulares del Capítulo 4	129
	Conclusiones Generales	131
	Anexos	
A.	Marco Legal de Proyectos de Energías Renovables para Generación de Electricidad por Actores del Sector Privado en México	138
B.	Breve Historia del Aprovechamiento de la Energía Eólica	148
C.	México y el Protocolo de Kioto	159
D.	El Proceso de Migración de Avifauna y de Murciélagos	165
E.	Postura Oficial de Algunas Organizaciones Protectoras de Avifauna y Murciélagos	175
F.	Tecnologías de Medición y Estimación de avifauna	180
G.	Listado de sitios útiles en Internet	185
	Referencias y Bibliografía	186

Listado de Tablas

Tabla 1.1 Participación de las Energías Renovables en la Oferta Energética Mundial.	15
Tabla 1.2 Potencial Energético de las Energías Renovables a Escala Global.	17
Tabla 1.3 Participación de las Fuentes Renovables de Energía en la Oferta de Energía Primaria en México.	22
Tabla 1.4 Prototipos de Aerogeneradores emplazados en la estación experimental El Gavillero.	27
Tabla 2.1 Clasificación de la Potencia del Viento.	38
Tabla 2.2 Capacidad total de Energía Eoloeléctrica instalada en los 10 mercados a escala global.	41
Tabla 2.3 Desglose de los costos de instalación de la energía eólica.	53
Tabla 2.4 Evolución del desempeño de las turbinas eólicas 1981-2009.	57
Tabla 2.5 Regiones con potencial Energético en la República Mexicana.	62
Tabla 2.6 Recurso Eólico del Estado de Oaxaca a una altura de 50 metros.	65
Tabla 3.1 Emisiones específicas a lo largo de la vida útil de una turbina eólica de 600 kW.	72
Tabla 3.2 Emisiones evitadas de CO ₂ por año y acumulada por la instalación de 5,000 MW de capacidad de centrales eoloeléctricas.	75
Tabla 3.3 Beneficios ambientales por la instalación de 5,000 MW de capacidad de centrales eoloeléctricas.	75
Tabla 3.4 Proyectos Eoloeléctricos a escala global desarrollados a través de MDLs.	76
Tabla 3.5 Proyectos Eoloeléctricos desarrollados en México a través de MDLs.	77
Tabla 3.6 Comparación de la superficie requerida para diversas centrales eléctricas.	78
Tabla 3.7 Número estimado de colisiones aviares en algunos sitios eoloeléctricos selectos de los Estados Unidos.	85
Tabla 3.8 Composición de las fatalidades (%) aviares por colisión observadas en centrales eoloeléctricas de los Estados Unidos.	87
Tabla 3.9 Número estimado de colisiones de murciélagos en sitios eólicos selectos de los Estados Unidos.	89
Tabla 3.10 Porcentaje de fatalidades por especie de murciélagos documentadas en los Estados Unidos.	90
Tabla 3.11 Fatalidades aviares por actividades y estructuras antropógenas en Estados Unidos	93
Tabla 4.1 Tamaño y potencia de aerogeneradores de cuatro de los principales fabricantes mundiales de aerogeneradores.	110
Tabla 4.2 Resumen de estudios recomendados para la evaluación del impacto de la energía eólica en avifauna y murciélagos.	115
Tabla 4.3 Documentos de Lineamientos para Mitigación de Fatalidades de Avifauna y Murciélagos en el ámbito mundial.	123

Listado de Figuras

<i>Figura 1.1</i> Esquema general del aprovechamiento de la radiación solar y su transformación a formas útiles de energía para el ser humano.	13
<i>Figura 1.2</i> Participación de las Energías Renovables en la Oferta Energética Mundial.	15
<i>Figura 1.3</i> Influencia de las Políticas e incentivos de la Promoción de las Energías Renovables en la República Federal de Alemania, Caso Energía Eólica.	19
<i>Figura 1.4</i> Proyecto fotovoltaico residencial en el Estado Federal de Baviera en la República Federal de Alemania.	19
<i>Figura 1.5</i> Estación experimental de El Gavillero del Instituto de Investigaciones Eléctricas.	26
<i>Figura 1.6</i> Ehécatl, Dios Azteca de los Vientos.	28
<i>Figura 1.7</i> Central Eoloeléctrica La Venta en el año 2001.	30
<i>Figura 2.1</i> Representación de Aeolus en Mármol	33
<i>Figura 2.2</i> Capacidad Instalada Global Acumulada de Energía Eólica 1995-2007.	40
<i>Figura 2.3</i> Aerogenerador de 2.3 MW instalado a una altura de 100 m en Halle, Alemania.	43
<i>Figura 2.4</i> Central Eoloeléctrica en las Montañas Guadalupe cerca de El Paso, TX., Estados Unidos.	46
<i>Figura 2.5</i> Rotor de una Turbina eólica en reparación en la central eoloeléctrica de Ponnequin, Colorado, Estados Unidos.	48
<i>Figura 2.6</i> Moderno álabes de una turbina eólica, Centro Nacional de Pruebas de Energía Eólica, Boulder, Colorado, Estados Unidos.	50
<i>Figura 2.7</i> Esquema de la transmisión de una moderna turbina eólica diseñada con la ayuda de paquetes de computación especializados.	50
<i>Figura 2.8</i> Caja de engranes de una turbina eoloeléctrica Vestas de 700 kW.	51
<i>Figura 2.9</i> Turbina eoloeléctrica Enercon-E126 de 6 MW de capacidad.	52
<i>Figura 2.10</i> Desglose de los Costos de Instalación de la Energía Eólica.	54
<i>Figura 2.11</i> Comparación de costos de generación de la energía eoloeléctrica con diversas fuentes energéticas Centavos de Dólar por kWh.	56
<i>Figura 2.12</i> Rango de Costos Nivelados de Generación para diversas tecnologías de energías renovables Centavos de Dólar por kWh.	56
<i>Figura 2.13</i> La energía eólica es compatible con las actividades ganaderas en la central eoloeléctrica de Ponnequin, Colorado, en los Estados Unidos.	59
<i>Figura 2.14</i> Torres anemométricas instaladas en la República Mexicana por parte de CFE y del IIE.	63
<i>Figura 2.15</i> Mapa del recurso eólico del estado de Oaxaca elaborado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos.	65
<i>Figura 3.1</i> Comparativo de las emisiones de diferentes tecnologías energéticas.	71
<i>Figura 3.2</i> Comparativo del impacto visual de centrales de generación de electricidad.	80
<i>Figura 3.3</i> Comparativo del ruido emitido por diversas fuentes sonoras y una turbina eólica a una distancia de 350 metros.	82
<i>Figura 3.4</i> Mal Emplazamiento de turbinas eólicas en el sitio Altamont Pass, California. Se puede observar la gran concentración y diversidad de turbinas eólicas.	86

Figura 4.1 Aerogenerador instalado en una zona urbana, en las cercanías del estadio “Allianz Arena” en Múnich, Alemania.	108
Figura 4.2 Separación de aerogeneradores caso vientos unidireccionales.	111
Figura 4.3 Separación de aerogeneradores caso vientos no-unidireccionales.	111
Figura 4.4 Deben evitarse las torres de elementos estructurales.	112
Figura 4.5 Aerogenerador sin cubierta de la nacela en San Gorgonio Pass, California.	112
Figura 4.6 Dos patrones de Pintado propuestos para álabes de aerogeneradores.	119
Figura 4.7 Aerogeneradores con los álabes pintados con un patrón visible en Altamont Pass, California.	120

Introducción General

Antecedentes

La búsqueda de fuentes energéticas ha ido a la par del desarrollo del ser humano; los primeros seres humanos hicieron uso de la energía solar para iluminación y obtener calor. Durante el día los primeros homínidos recolectaban comida y realizaban todas sus actividades, pero durante la noche requerían de un refugio, pues la tierra se tornaba oscura y fría, desde que la única fuente de iluminación era la luna y las estrellas y así mismo tenían que agruparse para mantener el calor de sus cuerpos. Igualmente la humanidad también hacía uso de su propia musculatura como fuente de potencia, así como la de otros animales domesticados. Posteriormente, probablemente a través posiblemente de un accidente, se dio cuenta que el fuego le proporcionaba calor y una fuente de iluminación. No está claro cuando fue que el hombre primitivo aprendió como obtener fuego frotando dos trozos de madera; algunos autores lo reportan desde el paleolítico inferior. Lo cierto es que el fuego fue la primera fuente de energía que podía ser controlada por los antecedentes del homo sapiens.

Una vez que pudo controlar el fuego, se iniciaron una serie de “sorprendentes” descubrimientos de sus aplicaciones, tales como la cocción de la carne (haciéndola más fácil de comer y mejorando su sabor), la construcción de nuevas herramientas más fuertes que les permitió cazar animales. Así que esta fuente de energía facilitó la vida enormemente. El uso de la madera y el sol fueron las únicas fuentes energéticas y no fue hasta hace 5,000 años aproximadamente, que empezaron a agregarse nuevas fuentes al “portafolio energético” de la humanidad. Aunque no se sabe con exactitud cuando fue construida la primera embarcación impulsada por viento, arqueólogos han encontrado vestigios de su uso en las culturas de Egipto y Mesopotamia. Para alrededor del año 500 A.C., en Persia ya se hacía uso del viento para la molienda de granos y posteriormente para la elevación de volúmenes de agua hasta llegar a los famosos molinos de viento holandeses y los tipo granjero usados ampliamente alrededor del mundo (Mathew, 2007).

Sin embargo, tal vez fue en Europa, donde se dio el desarrollo de otra fuente energética, aprovechando las masas de agua en movimiento. La rueda hidráulica vertical, inventada quizás por el año 2000 A.C., se encontró esparcida en todo el territorio europeo, para aplicaciones diversas como la molienda de granos, el accionamiento de telares, el curtido de pieles, la

fundición y moldeo de hierro, el aserrado de madera, entre algunos otros más. Con esto podemos decir que se incrementó la productividad, disminuyó la dependencia de la fuerza o energía humana y animal, y los sitios con un buen potencial hidráulico se convirtieron en los centros de la actividad.



*Figura 1. Rueda Hidráulica Horizontal en “La Granja de Esporlas” Mallorca, España.
Fuente: Propia*

Por otra parte, en varios puntos del planeta se daba inicio al uso de los combustibles fósiles, los mismos egipcios ya recolectaban petróleo que se encontraba flotando en algunos estanques superficiales y lo quemaban para obtener una fuente de luz; los indígenas americanos ya conocían el carbón como fuente de energía y lo empleaban para la cocción de vasijas de barro. Los chinos usaban gas natural para evaporar agua de mar y obtener sal. Así mismo, los romanos y los indígenas americanos, ya hacían uso de la energía geotérmica para el calentamiento de recintos.

Así junto con el desarrollo de la humanidad, ésta fue aprendiendo a hacer uso de diferentes fuentes de energía, y hasta hace apenas 150 años, el sol y madera predominaron como las más usadas (aunque en varios sitios lo son aún). Pero es sin embargo a partir de la Revolución Industrial, principalmente con la invención de la máquina de vapor que se incrementa de gran manera la demanda de energéticos. Dicho periodo histórico comprendido entre la segunda mitad del Siglo XVIII y principios del XIX, trajo consigo transformaciones socioeconómicas, tecnológicas y culturales de diversos países, principalmente de Europa. Algunas de estas transformaciones fueron: la forma de producción artesanal de bienes hacia una forma de producción basada en el uso de maquinarias especializadas; el desarrollo de sistemas de transporte de mayor capacidad y velocidad, como el caso del ferrocarril; así como la migración de la población predominantemente rural hacia centros urbanos de mayor tamaño (More, 2000).

Estas nuevas formas de producción requirieron máquinas que incrementaron la productividad, pero al mismo tiempo demandaron mayores cantidades de energía, la cual no podía ser suministrada por la potencia de un ser humano o por algún otra forma de ser viviente, o ni siquiera por las fuentes hidráulicas ya desarrolladas. Así que el suministro de energía para esta nueva forma de producción se convirtió en un aspecto de vital importancia para mantener dicho desarrollo y satisfacer la cada vez mayor demanda de energéticos a costos apropiados para emplearlos a la escala requerida. Con esta revolución “energética” se dio inicio a la era de los combustibles fósiles a gran escala, siendo el carbón el primero de ellos, permitiendo la independencia de los centros de producción de sitios donde se encontraban las fuentes de energía ya que ahora la fuente energética podría ser llevada a donde existía la necesidad de usarla. Para principios del Siglo XX el carbón cubría alrededor de dos terceras partes del suministro mundial de energía (IILSEN-Senado de la República, 2005). Asimismo, en el año 1882 se inauguraba en New York, la primera planta de generación de energía eléctrica, la “Pearl Street Power Station” un generador a base trabajando a base de carbón y alimentando 85 edificios de dicha ciudad. Curiosamente, la gente tenía temor de la electricidad y no permitían que los niños se acercaran a las luces eléctricas, cuando hoy en día la electricidad esta casi presente en cualquier actividad cotidiana de nuestras vidas (<http://www.pearlstreetinc.com/edison.htm>).

Paralelamente a dichos acontecimientos, se dio inicio al uso del petróleo, cuando se perforó el primero pozo petrolero alrededor del año 1859. El petróleo era refinado para obtener keroseno, empleado en iluminación mediante lámparas. No existía aun uso para la gasolina por lo que era desechada, pues el primer auto con motor que funcionaba con gasolina no vino sólo hasta finales del Siglo XIX, lo cual sin duda también revolucionó la forma de vida del ser humano sobre la tierra, los medios para moverse de un lugar a otro y la forma de transportación de bienes y mercancías (Conley, 2005).

Así el carbón, el petróleo y el gas natural se convirtieron en los principales suministradores de energía primaria a escala mundial, y como ya se ha mencionado una forma de energía solar, la cual permaneció almacenada por más de 500 millones de años, pero que sin embargo, al ser humano le ha tomado poco más de un siglo para consumir la parte fácilmente explotable de ellas, en una forma hasta cierto punto, ineficiente e irresponsable, sin tomar en cuenta su carácter finito (ISES, 2008).

Para el año 1973 se dio otro suceso que afectaría el mercado energético mundial, cuando los miembros de la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo (OPAEP, que consta de los miembros árabes de la OPEP más Egipto y Siria) anunciaron un embargo petrolero, en respuesta a que los Estados Unidos y otros países occidentales apoyaron militarmente a Israel durante la guerra de “Yom Kippur”. Al mismo tiempo, los miembros de la OPEP acordaron utilizar su influencia sobre el mercado petrolero para elevar los precios del mismo en el entorno mundial, cuadruplicando el costo del barril, hasta un valor de 12 dólares. El mundo experimentó una severa crisis político-económica, cambiando una vez más la forma en que el mundo percibía la explotación y uso final de la energía, y cuyos efectos aun pueden palpados en la economía mundial, evidenciando la gran influencia del petróleo en la vida (<http://www.ucsusa.org/>).

Como consecuencia de lo anterior, se inició la búsqueda de otras fuentes energéticas alternativas para poder contrarrestar los efectos causados por el embargo petrolero. Así los ojos del mundo voltearon una vez más hacia las fuentes renovables (entre algunas otras más, como la nuclear y el incremento de la explotación de carbón), pero la energía solar, eólica y la biomasa emergieron como una opción para minimizar dichos problemas, pues el recurso solar se encuentra más o menos uniformemente esparcido a lo largo de todo el planeta y no tan sólo en manos en unas cuantas regiones, como es el caso de los recursos petroleros, lo que le confiere una forma más “democrática” y equitativa de aprovechamiento energético para el desarrollo.

Por otra parte y aunado a lo anterior la contaminación ambiental y en particular las emisiones de dióxido de carbono CO₂ a partir del uso de dichos combustibles fósiles se han constituido como un serio problema para la humanidad, el medio ambiente y desarrollo económico sostenible. Aunque tal vez la amenaza más grave es el fenómeno relacionado al cambio climático global, el cual es un hecho ya reconocido a nivel mundial, cuyos efectos ya son perceptibles a escala global con el aumento de las temperaturas, el derretimiento de las capas de hielo polares y en general un cambio en los patrones climáticos del planeta; y desgraciadamente de acuerdo al Panel Intergubernamental de Cambio Climático, el sector energético es uno de los máximos contribuyentes a este problema ecológico de escala mundial.

Por lo que tomando en cuenta todo lo anterior, en años recientes ha surgido una preocupación generalizada para encontrar la solución a estos dos problemas fundamentales: el abastecimiento de energía y el abatimiento de la contaminación ocasionada por las actividades propias de dicha

actividad. Sin embargo, también, ha sido reconocido el hecho que las *fuentes renovables de energía* pueden ser una solución viable y sustentable para afrontar ambos problemas, pues su carácter de renovabilidad las convierte en fuentes prácticamente inagotables de energía, con un impacto ambiental mínimo, lo que las convierte en una alternativa ecológicamente preferible sobre aquellas que hacen uso de fuentes no renovables.

Una de las fuentes de energía que ha tomado un papel de liderazgo en el escenario energético mundial es la energía eólica; la cual ha alcanzado una importante madurez tecnológica y económica que la hace competitiva ante fuentes convencionales de energía, por lo que se ha convertido en un componente vital a escala global para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, responsables del cambio climático global. Sin embargo, y como cualquier actividad desarrollada por el ser humano, no está exenta de presentar algunos impactos ambientales, para el mismo ser humano y para la vida silvestre. Uno de los principales impactos y motivos de preocupación es el relacionado, con las colisiones de los álabes de los generadores con avifauna y murciélagos; y es precisamente a partir de dichas consideraciones del posible impacto que, principalmente, en los Estados Unidos y Europa se han realizado diversos estudios, análisis y trabajos para entender, analizar, evaluar y encontrar las posibles soluciones a dicho problema, por lo que la *hipótesis* general a resolver en el presente trabajo es la siguiente:

Hipótesis

Ante el incremento del aprovechamiento de la energía eólica y a pesar de sus bondades ambientales y ser un elemento eficaz en el abatimiento del cambio climático global, los aerogeneradores representan una amenaza para la vida silvestre, en particular la avifauna y los murciélagos, menguando de forma importante las poblaciones totales de estas especies, por lo que deben detenerse los emplazamientos de proyectos eoloeléctricos, tanto a escala mundial como nacional.

Así es que tomando en cuenta esta hipótesis el objetivo general del presente trabajo es el siguiente:

Objetivo General

Analizar, examinar y determinar si de alguna manera los aerogeneradores representan un riesgo para la avifauna y murciélagos y son capaces de menguar de forma importante las poblaciones totales de estas especies, para contar con elementos para emitir una recomendación de continuar o detener el emplazamiento de proyectos eoloeléctricos, a pesar de que estos representan ventajas ambientales latentes y la existencia de una coyuntura favorable a escala mundial para su desarrollo.

Asimismo, los objetivos particulares del presente trabajo son los siguientes:

Objetivos particulares

1. Analizar y poner en real perspectiva el impacto ambiental de la energía eólica en avifauna y murciélagos, comparando los resultados del impacto ambiental de otras fuentes energéticas convencionales y de diversas estructuras y actividades antropogénicas sobre estas mismas especies.
2. Examinar las consideraciones que de manera natural mitigan los impactos de la energía eólica en avifauna y murciélagos, así como proponer recomendaciones de las mejores prácticas para la selección de sitios, espaciamiento y diseño de aerogeneradores para mitigar las colisiones de avifauna y murciélagos.
3. Analizar las ventajas del aprovechamiento de la energía eólica (como por ejemplo, su poderosa contribución al combate del cambio climático global), las circunstancias que han propiciado el vertiginoso emplazamiento de proyectos eoloeléctricos a escala mundial, así como enfatizar el gran potencial eoloeléctrico de nuestro país.
4. Analizar la favorable coyuntura estructural a escala mundial para el desarrollo de proyectos de energías renovables, incluyendo a la energía eólica, y su gran potencial de aprovechamiento a escala global, lo que las ha llevado a convertirlas como las protagonistas de la próxima transición energética mundial.

Justificación

Actualmente a escala mundial existe una expansión del uso de las fuentes renovables de energía, y en particular de aquella denominada eólica en gran escala para la generación de electricidad; el crecimiento de la participación de esta fuente energética se encuentra respaldado por las bondades ambientales de la misma; ante esta expansión de la tecnología en los años ochenta surgió una preocupación relacionada a las fatalidades de aves, y posteriormente de murciélagos, ocasionadas por la colisión de éstos con los álabes de los aerogeneradores. Este aspecto no es trivial, pues dentro de la comunidad eoloenergética, es considerado como uno de impactos ambientales más importante, sino es el que más, de la energía eólica sobre la vida silvestre. Ante esta situación algunos grupos ambientalistas mostraron su oposición al desarrollo de proyectos de eoloeléctricos a escala mundial, por lo que la industria eólica, principalmente de los Estados Unidos y la Unión Europea, inició campañas de investigación, para comprender el problema y posteriormente para encontrar las posibles soluciones al mismo.

Ante este marco, desde hace más de 30 años, en México se han dado acciones en el campo del aprovechamiento de la energía eólica, y aunque no se ha dado la explotación a gran escala de su vasto recurso eólico, la tendencia mundial y los planes del Gobierno de México para impulsar a las fuentes renovables de energía, harán inevitable que se desarrollen grandes emplazamientos eoloeléctricos a lo largo y ancho del país.

Por otra parte, también es conocido el hecho que la situación geográfica de México lo convierte en una vía natural de migración para millones de aves, además de que nuestro país es reconocido por su amplia biodiversidad, la cual incluye aves residentes y murciélagos, por lo cual el desarrollo de proyectos eoloeléctricos podría traer ciertos cuestionamientos relacionados a su posible impacto a estas especies y por lo que se hace necesario contar con información científica relacionada al problema en idioma castellano, puesto que prácticamente toda la información al respecto se encuentra en idioma inglés; lo anterior con el objetivo de brindar a la opinión pública elementos para formar un juicio más adecuado y apegado a la realidad y poder emitir opiniones conscientes al respecto, o en su caso contar con herramientas para minimizar el impacto y reforzar el carácter amigable de la energía eólica con el ambiente y con esto promover, o en su caso detener, el emplazamiento a gran escala de la energía eólica en México e incluso a escala mundial.

Estructura del Trabajo

Para la consecución de los objetivos planteados, el presente trabajo se encuentra dividido en una estructura de cuatro capítulos; el contenido cada uno de los cuatro es descrito brevemente a continuación:

El Capítulo 1 analiza la situación general de las energías renovables en el contexto mundial y en particular, el caso de México, haciendo hincapié en la situación de la energía eoloeléctrica nacional, lo cual incluye su historia, desarrollo, proyectos y las principales acciones desarrolladas.

El Capítulo 2 hace una breve descripción del origen del recurso eólico y una síntesis del estado actual de la energía eólica a escala global, así como las ventajas de su explotación con respecto a otras fuentes energéticas; desarrolla también una breve descripción de los aspectos tecnológicos y económicos actuales del emplazamiento de centrales eoloeléctricas; como parte final, presenta el potencial estimado del aprovechamiento de energía eólica en México.

El Capítulo 3 hace una descripción de las implicaciones ambientales del aprovechamiento de la energía eólica y mediante la revisión de la literatura disponible presenta una perspectiva realista del impacto de las centrales eoloeléctricas sobre la avifauna y los murciélagos, realizando, además, una comparación de las fatalidades ocasionadas por otras actividades del ser humano, incluyendo por supuesto, la explotación de otras fuentes energéticas.

El Capítulo 4 hace un resumen de los factores que de forma natural mitigan el impacto ambiental de la energía eólica respecto a las colisiones de avifauna y murciélagos y presenta algunas medidas y recomendaciones para minimizarlo, también se analizan algunas tecnologías que han sido propuestas con el mismo fin; su última sección está referida a los lineamientos, guías y documentación en diversos países que tienen el objetivo de mitigar dicho impacto mediante prácticas que hacen a la energía eólica más amigable con la avifauna y los murciélagos.

Capítulo 1. Energías Renovables: Aprovechando la Coyuntura Energética Mundial

1.1 Introducción

Sin la energía emitida por el sol y que diariamente alcanza nuestro planeta, éste sería un lugar obscuro y frío (alrededor de los -200 C), por lo cual y como consecuencia obvia, la vida tal como la conocemos no sería posible. Además, las fuentes renovables de energía fueron las primeras en entregar, en cantidad suficiente y de manera confiable, fuerza para el desarrollo y evolución del ser humano, debido principalmente a su disponibilidad en la naturaleza a través de la radiación solar. (Breuning, Evangel, 1983).

Actualmente, el uso de las energías renovables se ha convertido en una realidad tecnológica; éstas han pasado de ser costosos y hasta cierto punto simples experimentos de laboratorio a consolidarse como industrias bien establecidas que cuentan con enormes capitales, inclusive, en algunos casos forman parte de los corporativos más grandes y diversificados del mundo. Por otra parte, a escala mundial, la humanidad está enfrentando grandes retos: el calentamiento global, la explotación desmedida de los recursos naturales, la explosión demográfica, el encarecimiento de los energéticos, así como la distribución geográfica desigual de los mismos, por lo que se considera ya necesaria una transformación energética mundial. Lo anterior también está siendo agravado por el hecho de que muchos países están en plena expansión económica e industrial; además se calcula que para el año 2050 la población mundial alcanzará los 9,000 Millones de habitantes (IRENA, 2008).

Las fuentes renovables de energía están llamadas a formar parte de la próxima gran revolución del sector energético a escala mundial (IILSEN-Senado de la República, 2005). Por lo anterior, los responsables de las políticas energéticas de varios países, tanto desarrollados como en desarrollo, están volteando hacia las energías renovables como una solución viable para algunos de los problemas que la humanidad está enfrentando. Las energías renovables podrían significar la respuesta para satisfacer en cantidad y calidad suficiente las necesidades energéticas mundiales y al mismo tiempo revertir los severos daños ecológicos que la explotación y uso de los recursos energéticos, principalmente fósiles, han causado en el

ambiente de nuestro planeta. La Asociación Internacional de Energía Solar, *ISES*¹, considera que las energías renovables representan una solución para evitar la posible crisis mundial de energéticos a la era post-petrolera; principalmente por sus características amigables y compatibles tanto con los ecosistemas como con los ciclos físicos naturales de la Tierra, así como por su disponibilidad y carácter inagotables.

En el aspecto económico, además, representan una oportunidad de generación de empleos y el desarrollo de nuevas industrias, sin los costos de las externalidades aparejados a los combustibles fósiles, contribuyendo con esto a la autosuficiencia y mejor distribución económica entre los países del mundo; los recursos de energías renovables están disponibles tanto para países desarrollados e industrializados como para aquellos emergentes y en desarrollo, y en conjunto, con la eficiencia energética y la conservación de energía, comprenden la mejor combinación para el desarrollo sostenible de países que hasta ahora se encuentran marginados (ISES, 2008). Por todo lo mencionado es indispensable y posible promover el desarrollo y crecimiento económico mediante un suministro de energía seguro, accesible, confiable, limpio y en forma sostenible, pues cabe mencionar que en la actualidad más de **1,600 Millones de personas** no cuentan con acceso a la energía eléctrica y más de **2,500 Millones** aun dependen de combustibles elementales como la leña para cocción de alimentos y calefacción (IRENA, 2008).

Por lo anteriormente expuesto, en este capítulo se analiza la situación general de las energías renovables en el contexto mundial, para posteriormente examinar el caso particular de México, haciendo una revisión de la situación nacional y las vías en que puede ser aprovechada la coyuntura energética para desarrollar proyectos de energías renovables en nuestro país. Posteriormente se muestra, en forma general la situación de la energía eoloeléctrica en México, incluyendo: historia, desarrollo, proyectos y las principales acciones desarrolladas.

¹ International Solar Energy Society.

1.2 Objetivos particulares del Capítulo 1

- i. Analizar el marco actual de referencia bajo el cual se están desarrollando los proyectos de energías renovables en el entorno mundial.*
- ii. Mostrar el gran potencial de aprovechamiento de las energías renovables a escala mundial y la oportunidad que representan para un suministro energético sostenible para el presente y el futuro de nuestro planeta.*
- iii. Demostrar la favorable coyuntura estructural a escala mundial para el desarrollo de proyectos de energías renovables y su posible replicación en México.*
- iv. Analizar la situación actual de las energías renovables en México, haciendo hincapié en el caso de la energía eólica.*
- v. Hacer una reseña de los esfuerzos y experiencias realizados en México para el desarrollo de la energía eólica.*

1.3 Qué son las Energías Renovables

1.3.1 Origen de las Energías Renovables

Es posible considerar que todas las fuentes renovables de energía, e incluso algunas no renovables², a excepción de la geotérmica y de la mareomotriz, tienen su origen de alguna forma u otra a partir de esa gran estrella que funciona como un gran reactor de fusión nuclear³, conocido como “*Sol*”. Dicha energía es emitida en forma de radiación y tarda alrededor de 8 minutos en alcanzar nuestro planeta. La energía contenida en el sol todavía durará varios millones de años más y aún antes de que se agote todo su combustible, el sol se expandirá absorbiendo los planetas alrededor de él, incluyendo por supuesto al nuestro, por lo cual es una fuente prácticamente interminable de energía respecto al período de vida en el planeta tierra (NOAA, 2008)⁴. Así después de cruzar una distancia de una “Unidad Astronómica⁵”, la cantidad de energía que alcanza la exósfera⁶ es de 1.36 kWh/m²; cantidad conocida como la constante solar⁷ (Hunt, 1979).

Una vez que esta energía ha alcanzado nuestro planeta sufre diversos procesos en la atmósfera terrestre y puede manifestarse de muy diversas formas. De forma general, y tan sólo a manera de resumen, en la **Figura 1.1** se presenta en forma esquemática dichas manifestaciones⁸ y las diversas formas que podemos hacer uso de ellas para el beneficio de los seres humanos.

²Los combustibles fósiles pueden ser considerados como biomasa que ha sufrido algunos procesos físico-químicos a través de la aplicación, en forma natural de altas presiones y temperaturas, lo cual la transformó tal y como la conocemos y explotamos hoy en día.

³ Transformando millones de kilogramos de hidrógeno en helio a través del proceso conocido como la cadena protón-protón.

⁴ Servicio Nacional de Meteorología; Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos.

⁵ 150 Millones de Kilómetros, distancia que sirve además para definir una Unidad Astronómica.

⁶ Capa o nivel superior de la atmósfera terrestre.

⁷ Es la radiación solar recibida en un plano perpendicular a la misma, cuando la tierra se encuentra a una distancia promedio respecto a su movimiento de translación alrededor del sol.

⁸ Técnicamente hablando y de acuerdo a la *Primera Ley de la Termodinámica*, lo correcto es denominarlas como “Transformaciones”.

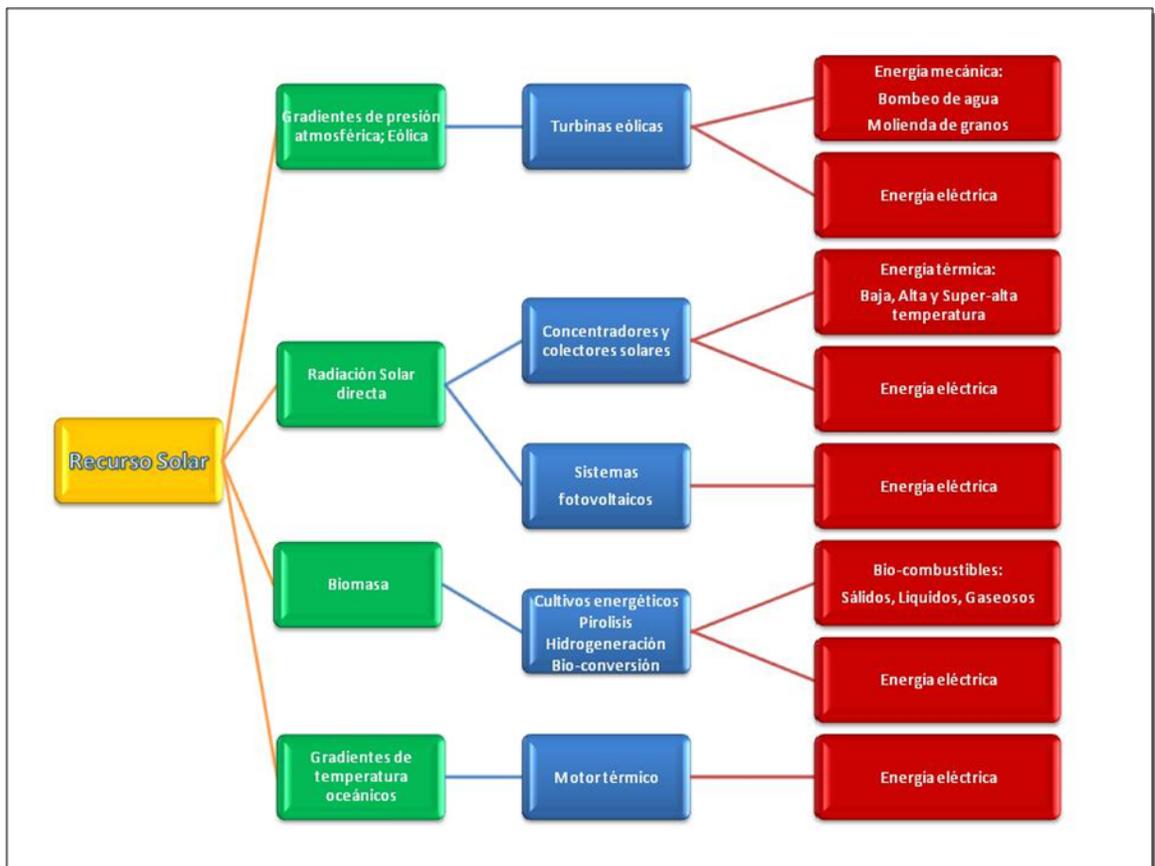


Figura 1.1 Esquema general del aprovechamiento de la radiación solar y su transformación a formas útiles de energía para el ser humano.

Fuente: Elaboración propia con información del Diccionario de la Energía.

1.3.2 Definición de las Energías Renovables

Cabe mencionar que las energías renovables incluyen algo más que únicamente aquellas aprovechables a partir de la radiación solar, por lo que para encontrar una definición más amplia y apropiada acerca de ellas, podemos recurrir a la recién publicada⁹ “*Ley para el Aprovechamiento de la Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética*”, la cual en su apartado dedicado a definiciones, indica lo siguiente:

Energías Renovables: *aquellas reguladas por esta Ley, cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran en forma disponible de forma continua o periódica...*

⁹ Publicada el 28 de Octubre de 2008 en el Diario Oficial de la Federación del Gobierno de México y de la cual se hace una descripción en el Anexo A.

Asimismo y de acuerdo al texto de dicha ley, las energías renovables, son las que a continuación se enlistan:

- a) El viento;*
- b) La radiación solar, en todas sus formas;*
- c) El movimiento del agua en cauces naturales y artificiales;*
- d) La energía oceánica en sus distintas formas, a saber: maremotriz, maremotermica, de la olas, de las corrientes marinas, y del gradiente de concentración de sal;*
- e) El calor de los yacimientos geotérmicos;*
- f) Los bioenergéticos, que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de Bioenergéticos; y*
- g) Aquellas otras que, en su caso, determine la Secretaria, cuya fuente cumpla con el primer párrafo de esta fracción¹⁰.*

1.4 Situación actual de las Energías Renovables en el Entorno Mundial

Los combustibles fósiles se convirtieron en la principal fuente de energía para la humanidad, representando el 81% de la oferta energética primaria mundial para el año 2006. La **Tabla 1.1** y la **Figura 1.2** presentan la participación de cada una de las fuentes en la oferta primaria energética a escala mundial (AIE, 2008). Sin embargo, la disponibilidad de los recursos fósiles se agotará en un periodo de unos 40 y 60 para el petróleo y gas natural respectivamente y unos 133 años para el caso del carbón (Instituto Mundial del Carbón, 2008), por lo que se estima que es necesario ya iniciar una transición energética basada en energías renovables, la cual de acuerdo al Libro Blanco de ISES (2003) ha sido pospuesta en por lo menos ya desde hace 30 años.

¹⁰ Se refiere a la definición de Energías Renovables de dicha Ley.

Tabla 1.1 Participación de las Energías Renovables en la Oferta Energética Mundial.

<i>Fuente Energética</i>	<i>1973 (PJ¹¹)</i>	<i>2006 (PJ)</i>	<i>Incremento porcentual</i>
Gas	2.31	101.09	4,273%
Nuclear	41.09	30.57	-26%
Petróleo	118.40	169.63	43%
Hidráulica	4.62	10.85	135%
Biomasa	62.92	49.81	-21%
Carbón	27.22	128.21	371%
Solar, eólica, y otros	0.26	2.96	1,052%
Totales	256.83	493.12	92%

Fuente: Agencia Internacional de Energía, 2008

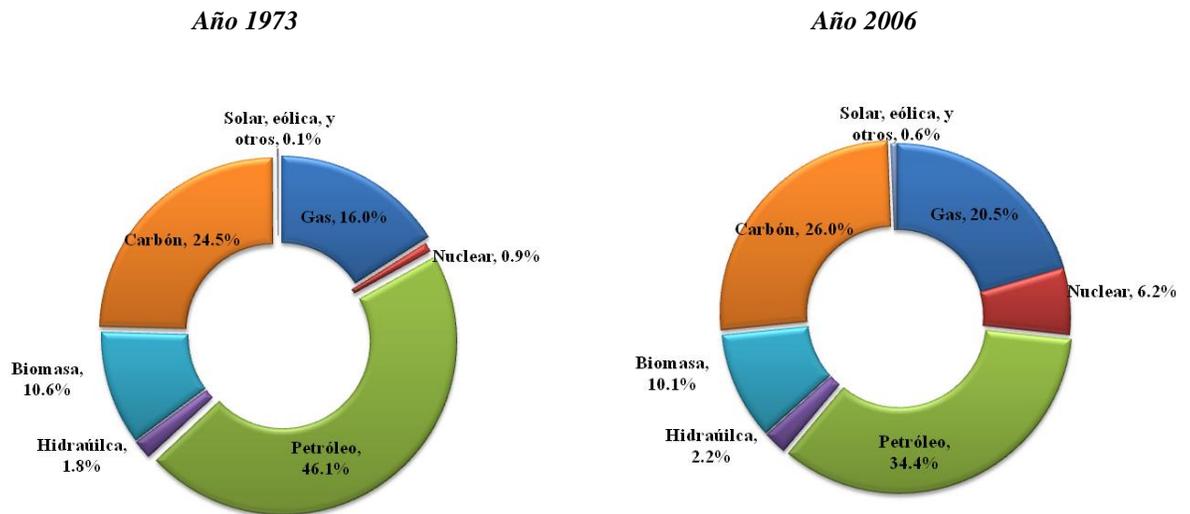


Figura 1.2 Participación de las Energías Renovables en la Oferta Energética Mundial.

Fuente: Agencia Internacional de Energía, 2008

Como se observa en la **Figura 1.2** de las fuentes renovables, la hidráulica es la de mayor participación en la oferta energética mundial. Lo anterior es porque para muchos países ha sido, desde el punto de vista de disponibilidad, de estrategia energética, así como por otras razones económicas, mucho más conveniente emplear sus recursos hidráulicos, que hacer uso de combustibles fósiles, además de representar un asunto de seguridad nacional, como es el caso de China que a partir del año 2009 contará con la central hidroeléctrica más grande del

¹¹ PJ=Petajoules (10¹⁵ Joules).

mundo, conocida como “Tres Gargantas”, localizada en las afluentes del Río Yangtze¹² de una capacidad total de generación de 18,200 MW¹³.

Sin embargo, a pesar de los beneficios obtenidos con la hidroelectricidad, tanto de generación de energía como control hidráulico, a nivel mundial existe un amplio debate respecto a los impactos ambientales y sociales de su uso, debido a que su explotación a escalas mayores, requiere de grandes extensiones de tierra para la construcción de embalses, los cuales en la mayoría de las ocasiones tienen alto impacto ambiental por las perturbaciones ocasionadas sobre los ecosistemas circundantes al modificar los flujos naturales de agua y los altos impactos ambientales hacia grandes grupos poblacionales que también resultan afectados por los desplazamientos y afectaciones de tierra.

1.4.1 Agencia Internacional de las Energías Renovables, IRENA

Alrededor del mundo se han dado avances más que significativos en el aprovechamiento de las energías renovables, así como esfuerzos encaminados hacia el desarrollo de las energías renovables. Por lo anterior, recientemente fue creada la “***Agencia Internacional de las Energías Renovables, IRENA***¹⁴” la cual tiene como objetivo convertirse en la principal fuerza impulsora para la promoción a escala mundial y para una rápida transición hacia el uso amplio y sostenible de las energías renovables; así que esta iniciativa es un ejemplo representativo de la voluntad mundial para alcanzar la tan esperada, y a su vez retrasada, revolución energética. Esta agencia cuenta con el apoyo de más de 60 países, encabezados por la República Federal de Alemania y brindará asesoría y apoyo práctico tanto a naciones industrializadas como a aquellas del bloque emergente mundial, ayudándoles a mejorar su normatividad y a desarrollar recursos humanos y organizacionales.

La ***IRENA*** pretende ser un punto de convergencia de toda la información disponible relacionada al aprovechamiento de las energías renovables, como lo serían: datos confiables de potenciales de aprovechamiento, mejores prácticas de aprovechamiento a escala mundial, mecanismos financieros efectivos y la diseminación del estado del arte de las diferentes tecnologías de energía renovables que se encuentren disponibles.

¹² Conocido en idioma Castellano como Río Amarillo.

¹³ Fuente: Página de Internet del Proyecto de Tres Gargantas: <http://www.ctgpc.com/>.

¹⁴ IRENA, por las siglas en inglés para: International Renewable Energy Agency.

1.4.2 Potencial de Aprovechamiento de las Energías Renovables a Escala Mundial

En lo que respecta al potencial de aprovechamiento de las energías renovables, éste es realmente impresionante; de acuerdo a la IRENA y con respecto al Consumo Global Actual de Energía Primaria (CGAEP) del 2007, la disponibilidad energética de las renovables alcanza unas 2,000 veces dicha cantidad. En la **Tabla 1.2** se presenta el potencial desglosado para cada una de las formas renovables de energía.

Tabla 1.2 Potencial Energético de las Energías Renovables a Escala Global.

<i>Energía Renovable</i>	<i>Potencial Energético EJ¹⁵</i>
Radiación solar	887.62
Eólica	98.62
Biomasa	9.86
Geotérmica	4.93
Oceánica y oleomotriz	0.98
Hidráulica	0.49
<i>Total</i>	<i>1,002.52</i>

Fuente: Elaboración propia con información de la Agencia Internacional de Energías Renovables, IRENA, 2008.

Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos alcanzados en materia de aprovechamiento de energías renovables y su enorme potencial para el mismo, aun en nuestros días existen comunidades alrededor del mundo que siguen haciendo uso de las mismas en su forma más elemental. Se estima que todavía alrededor de 2,500 millones de personas utilizan leña, carbón vegetal, residuos agrícolas y estiércol animal para satisfacer la mayor parte de sus necesidades diarias de energía; básicamente para la cocción de sus alimentos y como fuente de calefacción. En muchos países, estos recursos representan más del 90% del total del consumo de energía en los hogares (IEA, 2007).

Cabe mencionar que el uso ineficiente y no sostenible de la biomasa tiene graves consecuencias para la salud, el medio ambiente y el desarrollo económico; alrededor de 1.3 millones de personas, en su mayoría mujeres y niños, mueren prematuramente cada año debido a la exposición de la contaminación del aire a partir de la biomasa usada como combustible mediante tecnologías rudimentarias (IEA, 2007). Lo anterior ha sido como consecuencia de que el desarrollo socioeconómico mundial no ha sido uniforme en todas las regiones del planeta o en algunos otros casos también ha sido ocasionado por razones socioculturales; existen comunidades donde, por ejemplo, el uso del “fogón” representa una tradición ancestral (IILSEN-Senado de la República, 2005). Asimismo, las modernas tecnologías de energías renovables también han encontrado su nicho natural de mercado en

¹⁵ EJ=Exajoules (10¹⁸ Joules).

comunidades rurales donde en ocasiones el costo de llevar la red eléctrica de suministro es muy alto o las condiciones geográficas son en extremo difíciles, por lo que la instalación de sistemas aislados haciendo uso de energías renovables se ha convertido en la única opción técnica y económicamente viable.

Por otra parte se espera que los cada vez mayores precios del petróleo y del gas natural incrementen la participación de las energías renovables en la generación eléctrica, así como también lo harán los incentivos y las políticas públicas favorables que están siendo implementadas en diversos países del mundo. Así que en dicho marco, la energía eólica presenta enormes expectativas de desarrollo para la generación de electricidad, dadas sus ventajas respecto a otras fuentes energéticas, como son su abundancia, sus bondades ambientales, su economía competitiva, entre otras más (SENER, 2008).

1.4.3 Casos Exitosos de Promoción de Energías Renovables

A escala país, uno de los ejemplos de mayor éxito en la promoción de las energías renovables es el de la República Federal de Alemania con su *Ley de Energías Renovables* y su *Programa de Estímulo de Mercado para Energías Renovables*, los cuales han promovido el uso de éstas fuentes de gran manera y lo han colocado desde hace algunos años al liderato de la capacidad instalada de energía eólica y en la capacidad instalada de energía fotovoltaica a escala mundial (BMU, 2008). Dicho liderazgo ha sido basado en los programas de fomento que convierten la utilización de esta fuentes energéticas en un tema atractivo para generadores particulares, incluyendo también a aquellos que su actividad principal en algunos casos no está relacionada con el sector energético, como sería el caso de la agricultura y pequeñas compañías comunitarias; otro factor también lo ha sido la remuneración regulada por la ley, así como los esquemas que permiten la justa interconexión con la red de suministro, lo que proporciona viabilidad técnico-económica a los proyectos implementados. Las políticas de fomento a las energías renovables en Alemania han llevado a estas a una participación del 14.2% en la oferta total de energía de ese país y la creación de alrededor de 250,00 empleos (BMU, 2008). En la **Figura 1.3** se muestra la influencia de los incentivos y de las políticas de promoción en la promoción de la energía eólica, y los cuales han llevado a la instalación de más de 20,000 MW de capacidad en Alemania.

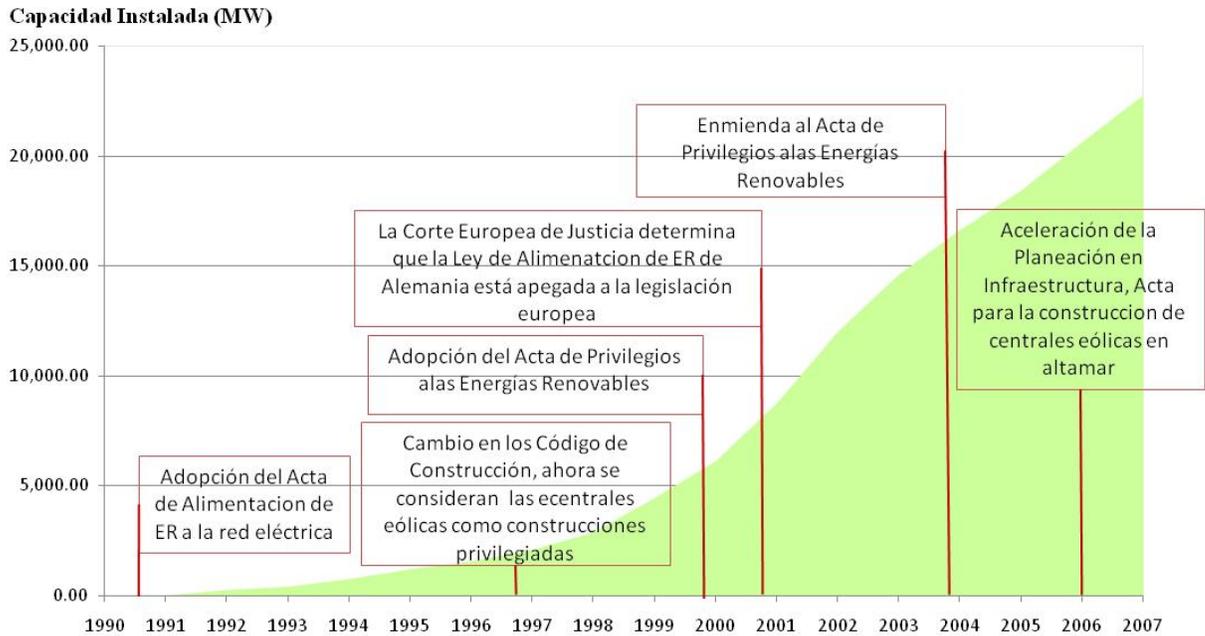


Figura 1.3 Influencia de las Políticas e incentivos de la Promoción de las Energías Renovables en la República Federal de Alemania, Caso Energía Eólica.

Fuente: Asociación Alemana de Energía Eólica, BWE: <http://www.wind-energie.de>.



Figura 1.4 Proyecto fotovoltaico residencial en el Estado Federal de Baviera en la República Federal de Alemania.

Fuente: propia

Otro ejemplo exitoso de fomento de energías renovables se puede encontrar en los Estados Unidos, donde se contempla aun más la expansión de la generación de electricidad a partir de fuentes renovables de energías, como una consecuencia de los estímulos otorgados para el desarrollo y avance tecnológicos, la inestabilidad en los precios de los combustibles fósiles, así como la extensión de los subsidios a niveles federales y estatales; por ejemplo, el crédito fiscal de 1.8 centavos de dólar por kWh a la generación de energía eólica o con centrales bioenergéticas, así como el establecimiento de metas de suministro a partir de energías renovables implementadas en forma independiente en algunos estados (DSIRE, 2009).

Existen otros países que también han desarrollado leyes, esquemas de incentivos y normas que han permitido el desarrollo de las energías renovables, como el caso de Dinamarca, España, Japón, China y la India. Cabe mencionar que el desarrollo de las energías renovables en estos países ha ido siempre de la mano de extensos programas de investigación y desarrollo (REW, 2009).

Como ejemplo de lo anterior, se espera que los factores envueltos en la promoción de las energías renovables alrededor del mundo, tales como subsidios, exenciones fiscales o incluso las propias fuerzas del mercado, abatan los costos de la tecnología fotovoltaica hasta los 3 dólares por Watt instalado, incluyendo ya todos los equipos del sistema de balance; por lo anterior se espera que el costo nivelado de generación para un periodo de 30 años será de 8 a 12 centavos de dólar/kWh, lo que permitirá que su competitividad ante las tecnologías, hasta ahora convencionales, o incluso convertirse en una opción más barata al vislumbrarse una tendencia creciente de los costos de los combustibles convencionales a escala mundial (ISES, 2005).

1.5 Situación Actual de las Energías Renovables en México

Aunque en México desde 1889 se instaló en Batopilas, Chihuahua, la primera central hidroeléctrica del país con una capacidad de 22 kW, en general las energías renovables no han conseguido el desarrollo esperado debido principalmente a la ausencia de políticas adecuadas de promoción, así como a la inadecuada planeación energética, pues no se han creado las condiciones y mecanismos necesarios para el desarrollo del mercado que impulse el uso dichas fuentes en forma masiva. Como es de suponerse para un país considerado como petrolero la “riqueza” y oferta energética del país se encuentra basada en dichos recursos fósiles, pero es siempre importante resaltar los grandes potenciales solar y eólico con los que cuenta México y que pueden ser aprovechado técnica y económicamente en forma competitiva.

De acuerdo al documento de *“Prospectiva del Sector Eléctrico 2007-2016”* entre 2005 y 2006 la producción de electricidad primaria a partir de fuentes renovables (hidráulica, energía, geotérmica y eólica) en México, se incrementó en 5.4%. Su contribución respecto a la producción total de energía primaria del país pasó de un 3.3% en 2005 a un 3.5% en 2006; lo anterior como resultado de la puesta en operación de la segunda etapa de la central eólica de La Venta, lo cual se reflejó en un incremento de la generación eoloeléctrica de un 794%, así

como del incremento de la capacidad hidroeléctrica del país en un 9.0%. Cabe mencionar que en cuanto aprovechamiento de la energía geotérmica se refiere, México ocupó en 2005 la tercera posición a escala mundial, con 960 MW¹⁶, representando el 10.5% de la capacidad total instalada mundial. Otro punto a considerar, en dicho documento, es la renovada voluntad del Gobierno de México a desarrollar las tecnologías de energías renovables como una estrategia para la seguridad energética nacional y la búsqueda del equilibrio ambiental del sector eléctrico, así como la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, principales precursores del calentamiento global, que tanto agobia al bienestar del planeta (SENER, 2007).

En dicho documento también se contempla que la capacidad de generación eléctrica del país se incrementará de los 48,769 MW¹⁷ con los que se contaban al año 2006 a 65,055 MW para el 2016, lo que representa un incremento de 16,286 MW, que en su mayoría será a base de nuevas centrales de ciclo combinado, centrales carboeléctricas y aquellas a base de energías renovables. Asimismo, también es reconocida la importancia de la energía para el desarrollo económico sostenible de muchas regiones de México, y por lo tanto es necesario desarrollar un portafolio diversificado de la oferta energética nacional, así como de la infraestructura de transmisión requerida. Y es precisamente en las regiones hasta ahora rezagadas al desarrollo, donde el aprovechamiento de energías renovables representa una oportunidad para abastecer de energía eléctrica en forma sostenible (SENER, 2007).

1.5.1 Las Energías Renovables en el Balance Nacional de Energía 2007

De acuerdo al Balance Nacional de Energía 2007¹⁸, documento publicado en forma anual por la Secretaría de Energía, para el año 2007 la producción nacional de energía primaria totalizó 10,523 Petajoules, siendo los combustibles fósiles la principal fuente con el 92.2 % y la oferta bruta de energía primaria fue de 7,254 Petajoules, y en esta caso la mayor participación correspondió también a los combustibles fósiles con el 88.4 % del total.

En este mismo documento se establece que las fuentes renovables de energía participaron con 4.6 PJ (sin contar la energía generada por CFE). Lo cual es realmente insignificante con respecto al total de energía primaria ofertada en México para este mismo año (alrededor del

¹⁶ Únicamente precedido por los Estados Unidos con 2,544 MW y las Filipinas con 1,931 MW.

¹⁷ La capacidad total instalada para el año 2008 es de 49,931 MW de acuerdo a cifras de la Comisión Federal de Electricidad.

¹⁸ Secretaría de Energía. Balance Nacional de Energía 2007. México, Distrito Federal. 2009.

0.043%). La **Tabla 1.3** muestra la participación de las fuentes renovables de energía para el año 2007, así como el uso final de éstas.

Tabla 1.3 Participación de las Fuentes Renovables de Energía en la Oferta de Energía Primaria en México.

<i>Fuente</i>	<i>Características</i>	<i>Uso Final</i>
Radiación Solar	Calentadores solares Planos Total hasta 2007 Acumulado hasta 2006: 993,953 m ² Eficiencia promedio: 70% Radiación Solar promedio: 18,841 kJ/m ² -día Disponibilidad de energía solar primaria = 6.836 Petajoules Generación de calor útil = 4.525 Petajoules	Calentamiento de agua de albercas, hoteles, clubes deportivos, casas habitación, hospitales e industrias
	Módulos Fotovoltaicos Total instalado en 2007: 901 kW Acumulado hasta 2007: 18,534 kW Superficie total instalada hasta 2006: 115,576 m ² Factor de planta y horas sol promedio: 25 % y 5.2 h/día Disponibilidad de energía solar primaria = 1.020 Petajoules Generación = 0.0319 Petajoules	Electrificación rural, comunicaciones, señalamiento y bombeo de agua
Viento	Aerogeneradores de electricidad Total instalados en 2006: 12 kW Acumulado total hasta 2006: 2,562 kW Factor de capacidad medio: 0.4=40% Generación secundaria de electricidad = 0.0323 Petajoules	Generación eléctrica
	Aerobombas de agua (papalotes de agua) Total instalados en 2007: 7 kW Acumulado hasta 2007: 2,188 kW Factor de capacidad medio: 0.25=25% Generación de energía mecánica = 0.0172 Petajoules	Bombeo de agua

Fuente: Balance Nacional de Energía, 2007, con información de la Asociación Nacional de Energía Solar, A.C.

Como se puede observar en la **Tabla 1.3**, a pesar de los esfuerzos realizados en el sector energético, la participación de las fuentes renovables de energía, hasta ahora, ha sido mínima. Es importante mencionar que la participación de la energía eólica en la oferta nacional se incrementó para el enero del año 2007, entrando en operación 98 aerogeneradores de la Central Eólica La Venta¹⁹, localizada en el municipio del mismo nombre, en el estado de Oaxaca, para alcanzar una capacidad total instalada de 85 MW y constando ahora de 105 aerogeneradores. A pesar de este avance, el uso del recurso eólico en México es aun marginal, tomando en cuenta el amplio potencial para el desarrollo de la generación eoloeléctrica de nuestro país²⁰, por lo que, obviamente, éste recurso no está siendo explotado ni aprovechado como un medio eficaz para beneficio del país, como por ejemplo, en mitigar los efectos de la pobreza en México.

1.5.2 Sistemas Fotovoltaicos

De acuerdo a la Comisión Nacional Para el Uso Sostenible de la Energía, CONUEE,²¹ la irradiación media nacional diaria anual²² es de 5 kw/h/m²; lo cual de acuerdo a dicha Comisión se puede considerar como un excelente recurso para el aprovechamiento tanto en sistemas de calentamiento de agua como en sistemas fotovoltaicos.

En lo que respecta a sistemas instalados de energía fotovoltaica existen más de 60,000 a lo largo del país. Lo anterior ha sido desarrollado en el marco de programas asistenciales, que han tenido como objetivo primordial mejorar la calidad de vida de comunidades marginadas. La energía solar fotovoltaica ha sido también empleada en el suministro de electricidad para diferentes aplicaciones como sistemas de estaciones repetidoras de microondas, telefonía satelital, el sistema de telesecundarias y la telefonía celular. Por otra parte, mediante el Programa de Energía Renovable para la Agricultura (PERA), operado por el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) dependiente de la SAGARPA, han sido instalados más de 1,100 fotovoltaicos para bombeo de agua y para refrigeración de productos agrícolas.

A su vez la primera experiencia en México de interconexión de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica se dio en 1998, en las instalaciones del Instituto de Investigaciones Eléctricas.

¹⁹ Conocida también como La Venta II.

²⁰ En el Capítulo 2 se presenta el tema de potencial eoloeléctrico de México.

²¹ Antes Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, CONAE.

²² Los valores para cada estado de la República Mexicana se pueden consultar en la página de Internet de la Conuee en la sección de energía solar: <http://www.conae.gob.mx>

Adicionalmente, en la actualidad operan 5 sistemas FV conectados a la red; cuatro de ellos proveen parcialmente la energía requerida en igual número de casas y el restante proporciona energía a un kiosco de una plaza pública en el Estado de Nuevo León.

1.5.3 Energía de la Biomasa

En cuanto al aprovechamiento de la biomasa para generación de electricidad se encuentra instalado un proyecto en Monterrey, N.L., haciendo uso del biogás generado por un relleno sanitario. La capacidad total del proyecto es de 7 MW y fue desarrollado con el apoyo parcial del Fondo para el Medio Ambiente Mundial ²³ (FMAM) a través del Banco Mundial.

Al año 2005 la Comisión Reguladora de Energía (CRE) había otorgado permisos por una capacidad total de 313 MW, lo que significa una generación de unos 616 GWh anuales mediante diversas tecnologías utilizando, biogás, bagazo de caña y sistemas híbridos (combustóleo y bagazo de caña). Adicionalmente la CONUEE ha desarrollado diversos estudios del potencial de generación con biogás en diversos rellenos sanitarios del área metropolitana de la Ciudad de México.

1.5.4 Energía Minihidráulica

En lo que al aprovechamiento del recurso minihidráulico²⁴ se refiere, la CONUEE ha estimado que el potencial nacional explotable es de unos 53,000 MW, de los cuales, alrededor del 6% es aprovechable en centrales con capacidades menores a los 10 MW. En lo que respecta a la capacidad instalada de acuerdo a datos de la CRE, para agosto de 2006 había en operación siete plantas con una capacidad total de 59 MW; cuatro de ellas ubicadas en el estado de Veracruz, dos más en Jalisco y la restante en el estado de Durango; adicionalmente, la CRE a dicho año había otorgado nueve permisos de construcción para un total de 125 MW. En el caso de la CFE y LyF, éstas cuentan con más de 32 centrales minihidráulicas, en su gran mayoría localizadas en los estados de Veracruz, Puebla, Estado de México, Querétaro, SLP, Michoacán, Jalisco, Tepic, Oaxaca y Chiapas. Cabe mencionar que dichas centrales son muy antiguas, incluso algunas sobrepasando los 100 años de operación²⁵, pues su desarrollo fue ocasionado por las necesidades de electrificar la región central país.

²³ Global Environmental Facility (GEF).

²⁴ Menor a 30 MW de capacidad.

²⁵ Como por ejemplo el caso de la central Portezuelos I, localizada en Atlixco, Puebla que entró en operación el 1ro de enero de 1901.

1.5.5 Energía Eólica

Debido al tema del presente trabajo, el caso de la energía eólica en México es a continuación presentado a mucha mayor profundidad que los casos anteriores de otras fuentes de energía renovable.

1.5.5.1 Evolución y Estado actual del Aprovechamiento de la Energía Eólica en México

Actualmente, en México existe un gran interés por lograr el mejor aprovechamiento del recurso eólico disponible, por lo que diversas organizaciones, tanto públicas como privadas, están realizando acciones para dicho fin; entre ellas: la Secretaría de Energía (Sener); la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat); la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa); la Comisión Federal de Electricidad (CFE); la Comisión Reguladora de Energía (CRE); la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae); el Gobierno del Estado de Oaxaca y otros gobiernos estatales y municipales; la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE); la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES); y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). Asimismo, para dicho fin se cuenta con apoyos diversa índole de organizaciones internacionales o de países específicos; por ejemplo: el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) por intermedio del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y del Banco Mundial (BM); Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés); Laboratorios Sandia de los Estados Unidos (SNL, por sus siglas en inglés), y la Agencia Alemana para el Desarrollo Técnico (GTZ, por sus siglas en Alemán). Todas estas organizaciones han desarrollado actividades para el fomento de la energía eólica en México, las cuales se describen en las secciones subsecuentes.

1.5.5.2 Historia de los Desarrollos y Aplicaciones de la Energía Eólica en México

Como parte de su estructura organizacional, existió hasta 1976 el Instituto de Investigaciones de la Industria Eléctrica, (IIIE)²⁶. Este Instituto inició hace más de 40 años las actividades de aprovechamiento de la energía eólica en México, con pequeños proyectos aislados de generación eléctrica. Para el año de 1975, en conjunto con los Institutos de Ingeniería y de Geofísica de la UNAM, llevó a cabo la primera evaluación del recurso eólico de la República Mexicana, con énfasis y teniendo como objetivo principal la electrificación rural. En ese mismo año la Comisión federal de Electricidad, CFE a través de la Gerencia General

²⁶ En el año de 1977, este Instituto dio paso al actual Instituto de Investigaciones Eléctricas, IIE.

de Operación y Electrificación Rural del todavía IIIE, desarrolló en el estado de Hidalgo la estación experimental de energía eólica conocida como “*El Gavillero*” (**Figura 1.5**). El proyecto consistió en aprovechar la red existente de suministro de energía, alimentándola mediante un inversor de 5 kW, el cual fue construido por personal de la CFE; dicho inversor estaba conectado a un banco de baterías, que era a su vez cargado mediante dos aerogeneradores Dunlite de 2 kW de capacidad cada uno.



Figura 1.5 Estación experimental de El Gavillero del Instituto de Investigaciones Eléctricas.
Fuente: Nelson, et al (2003)

Para febrero de 1977, la estación fue cedida al ya recién constituido *Instituto de Investigaciones Eléctricas, IEE*, pero desafortunadamente los experimentos posteriores sólo pudieron llevarse a cabo mediante simulaciones, ya que el inversor no soportaba cargas mayores a 1.5 kW; el sitio estaba equipado con el instrumental necesario, se contaba con los promedios horarios de velocidad del viento, y se conocían las curvas características de respuesta de generación de los aerogeneradores, por lo que fue posible estimar numéricamente la energía que sería posible suministrar a la red de distribución del sitio. Posteriormente la estación experimental de El Gavillero fue habilitada como un centro de pruebas de aerogeneradores de pequeña capacidad, y fue instalado un simulador de pozo de agua para llevar a cabo pruebas y la caracterización de aerobombas. La estación estuvo en operación hasta el año de 1996, cuando fue desmantelada. En la estación experimental de El Gavillero fueron desarrollados varios prototipos de aerogeneradores por parte del IIE, los cuales se resumen en la **Tabla 1.4**.

Tabla 1.4 Prototipos de Aerogeneradores emplazados en la estación experimental El Gavillero.

Año	Nombre y Capacidad Nominal	Características del prototipo
1977 - 1978	Sin Nombre, 1.5 kW	Eje horizontal con Tres álabes de aluminio, control centrífugo de ángulo de ataque
1980-1987	Colibrí de 5 kW	Único aerogenerador fabricado y comercializado en México
1981 - 1983	El Fénix I, 2 kW	Eje horizontal con Tres álabes de hierro y control de cola plegable
1981 - 1985	El Albatros I, 10 kW	Eje horizontal de 11 m de diámetro, tres álabes de aluminio, forradas con telas de dacron de alta resistencia
1986 - 1987	El Albatros II, 10 kW	Eje horizontal de 11 m de diámetro, tres álabes de fibra de vidrio delgada con control de torcimiento de álabe
1992 - 1995	El Fénix II, 2 kW	Eje horizontal con tres álabes de fibra de vidrio
1990 - 1995	La Avispa, 0.3 kW	Eje horizontal con tres álabes de fibra de vidrio y control por timón de cola plegable

Fuente; Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, CONUEE, 2009.

Asimismo, también se llevó a cabo el desarrollo de una aerobomba mecánica denominada “Itia” de eje horizontal, con 5 álabes metálicos y una potencia de unos 186 W (¼ H.P.) la cual bombeaba agua desde una profundidad de 50 m. Esta aerobomba probada en la estación experimental obtuvo una patente para el IIE, y aunque la licencia para su construcción y comercialización fue concedida, la falta de financiamiento y las dificultades para desarrollar la infraestructura de ventas y servicios posteriores fueron los motivos que frenaron su aplicación masiva en México.

El IIE también desarrolló anteproyectos para dos aerogeneradores de 50 y 100 kW cada uno, para ser probados en El Gavillero, sin embargo recortes presupuestales frenaron su desarrollo y se tuvo que retornar al desarrollo de pequeños aerogeneradores.

Adicionalmente a las actividades realizadas por el IIE, que por ya más de 40 años ha mantenido una actividad constante en diversos temas eólicos, otras instituciones también han elaborado proyectos de aerogeneradores. La Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del estado de México desarrolló un prototipo llamado Ehécatl (nombre dado al dios Azteca de los Vientos, **Figura 1.6**) con una capacidad de 1 kW; adicionalmente el Instituto de

Ingeniería de la UNAM, en conjunto con el Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, desarrolló otro tipo de idéntica capacidad. Por otra parte, la Universidad de Veracruz y la de Zacatecas han realizado trabajos de investigación y el desarrollo de prototipos pequeños, usando alternadores automotrices como generadores de energía. Asimismo una empresa cementera en México, en su planta productora de Ramos Arizpe, Coahuila, cuenta con un aerogenerador de 550 kW, el cual actualmente se encuentra en reparación pues sufrió una avería al ser impactado por un relámpago (LAWEA, 2009).



Figura 1.6 Ehécatl, dios azteca de los vientos
Fuente: Códice Borgia, P. 19.

1.5.5.3 El Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México

En el año de 2003, con el objeto primordial de eliminar las principales barreras que limitan el desarrollo de la generación eoloeléctrica en México fue instituido: ***el Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México***; éste programa está considerado dentro del Programa Operacional No. 6 del Fondo Global del Medio Ambiente, que corresponde a la promoción de la utilización de la energía renovable mediante la eliminación de obstáculos y la reducción de costos de ejecución y corresponde a actividades tendientes a combatir el cambio climático.

Para su ejecución se designó al ***IIE*** y la administración de los recursos económicos es responsabilidad del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en México, ***PNUD***. El apoyo económico para la primera etapa del proyecto fue de 4.7 Millones de dólares de los cuales más del 50% se canalizaron al desarrollo de la infraestructura básica del ***Centro Regional de Tecnología Eólica (CERTE)*** el cual incluyó la instalación de un aerogenerador. Durante la segunda etapa del proyecto, la aportación fue de 7.2 millones de dólares, de los

cuales 6 millones se encuentran destinados al desarrollo de tres proyectos eoloeléctricos comerciales de entre 15 y 20 MW cada uno de ellos.

Este plan eólico ha sido desarrollado a través de la colaboración y vinculación con varias instituciones del sector público y empresas privadas, principalmente con la Secretaría de Energía, la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Federal de Electricidad, Comisión Reguladora de Energía, Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, el Gobierno del Estado de Oaxaca y otros gobiernos estatales o municipales. Asimismo, para llevar a cabo el desarrollo de capacidades y la formación de recursos humanos especializados se anticipa la vinculación con instituciones de educación superior y con otros centros de investigación y desarrollo tecnológico. Por otra parte se han llevado a cabo análisis y propuestas al marco legal y regulador que influye sobre la generación eoloeléctrica en México, lo cual está siendo realizado por asesores nacionales, tomando en cuenta, por supuesto, las experiencias en otros países.

En este *Plan de Acción* se han planteado objetivos específicos para eliminar las principales barreras identificadas e impulsar acciones que tengan efectos multiplicadores relevantes. Entre ellos destacan, la ya mencionada, construcción de la infraestructura básica del Centro Regional de Tecnología Eólica en el estado de Oaxaca; el análisis detallado y propuesta de adecuación al marco legal, regulador e institucional que influye sobre el desarrollo de la generación eoloeléctrica en México; la formación de recursos humanos especializados en los diferentes aspectos involucrados en la generación eoloeléctrica; la evaluación del recurso eólico mediante la instalación de estaciones anemométricas en zonas con posibilidades de contar con recurso eólico; y la identificación, promoción y evaluación de esquemas de financiamiento que faciliten el desarrollo de proyectos eoloeléctricos.

Con el desarrollo de este plan, además de contribuir al desarrollo de la generación eoloeléctrica en México, se espera contar con algunos beneficios, tales como: la mitigación del cambio climático global, la generación de nuevas fuentes de empleo, el impulso al desarrollo regional, la diversificación energética y el incremento en la seguridad de abasto de energía.

1.5.5.4 Comisión Federal de Electricidad y el Desarrollo Eoloeléctrico en México

En el año de 1994, en el estado de Oaxaca, entró en operación la primera central eólica emplazada en la República Mexicana; esta granja eólica conocida como la central eoloeléctrica de La Venta; se encuentra localizada en el sitio homónimo, aproximadamente a 30 kilómetros al noreste de Juchitán. En este sitio el IEE había realizado mediciones desde 1984 y el sitio ubicado al Sur del Istmo de Tehuantepec fue determinado como el de mayor potencial eólico de la zona. Posteriormente, como resultado de una licitación pública de CFE se desarrolló la primera fase de la central la cual consistió de siete aerogeneradores de 225 kW cada uno, para una potencia total en el sitio, en aquel entonces, de 1,575 kW con rotores de 27 metros de diámetro, instalados sobre torres tubulares de 30 metros de altura.

Durante el primer año de operación, el factor de planta fue de 51.7 %, aunque el sitio ha presentado factores de planta para los aerogeneradores de hasta 60%²⁷. Cabe mencionar que en el mundo operan más de 2,000 máquinas eólicas del mismo fabricante y de capacidad similar a las de La Venta, pero únicamente una instalada en Nueva Zelanda ha estado cerca de los valores de generación registrados en México, que han impuesto récord con más de un millón de kWh por año.



Figura 1.7 Central Eoloeléctrica La Venta en el año 2001.
Fuente: Propia

²⁷ Cabe mencionar que un sitio idóneo para la generación eoloeléctrica presenta factores de planta de alrededor del 25%.

Los costos de generación en La Venta fueron durante la primera fase del proyecto, de alrededor de 4.3 centavos de dólar por kWh, similares a los de las centrales térmicas convencionales; este costo ha sido resultado del alto factor de planta de la central y de los relativos bajos costos de instalación de la misma. Los aerogeneradores cuentan con orientación activa y sistema de regulación de velocidad mediante un mecanismo que modifica el ángulo de ataque de los álabes. La configuración de la primera fase de la central fue en línea con una separación entre turbinas de 60 metros. La interconexión a la red eléctrica se realizó sobre una línea de 13.8 kV, es decir a un voltaje de distribución. No se han reportado problemas graves o relevantes como fractura de álabes o fallas estructurales.

Esta central representó la primera experiencia de CFE en cuanto centrales eoloeléctricas interconectadas al Sistema Eléctrico Nacional; como ya se ha mencionado, la central eoloeléctrica de La Venta consta ahora de 105 aerogeneradores, para una capacidad total instalada de 85 MW. Adicionalmente, CFE cuenta también con la Central eólica de Guerrero Negro localizada en dicha comunidad de Baja California Sur, dentro de la Zona de Reserva de la Biósfera de El Vizcaíno y consta de un sólo aerogenerador de una capacidad de 0.6 MW (CFE, 2008).

1.6 Conclusiones Particulares del Capítulo 1

- *A escala mundial existe una coyuntura energética muy favorable, que está llevando al uso masivo de fuentes renovables de energía, dadas sus bondades ambientales y su cada vez mayor competitividad económica con las fuentes hasta ahora convencionales.*
- *En forma general, y debido a su disponibilidad universal, las energías renovables representan una oportunidad más equilibrada y justa para el desarrollo sustentable a escala mundial.*
- *El potencial de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, supera unas 2,000 veces el consumo de energía al año 2007 a escala mundial, por lo que pueden ser consideradas capaces de abastecer la demanda energética global por si solas.*
- *Los programas y acciones de fomento y promoción implementados por los Gobiernos (créditos fiscales, inclusión en portafolios energéticos, leyes de compensación, etc.) son una parte fundamental para el desarrollo y explotación a gran escala de las fuentes renovables de energía, tal como lo representan los casos de la República Federal de Alemania y de los Estados Unidos.*
- *Pese a que nuestro país con altos potenciales de aprovechamiento de fuentes de energía renovables, contar con las condiciones propicias para el desarrollo de proyectos y de existir la voluntad política para su desarrollo, su participación es todavía marginal en la oferta de energía primaria del país (alrededor del 0.043%)²⁸.*
- *México cuenta con el conocimiento, la experiencia y los recursos humanos suficientes para el desarrollo e implementación de proyectos eoloeléctricos, así lo demuestran los más de 30 años de trabajo en este campo.*

²⁸ Esto sin tomar en cuenta la energía generada por la Comisión Federal de Electricidad.

Capítulo 2. Energía Eólica: Liderazgo en el Aprovechamiento de las Energías Renovables a Escala Mundial

2.1 Introducción

Como se mencionó en el Capítulo 1 del presente trabajo, una de las fuentes energéticas considerada como renovable es la energía del viento o “*Eólica*” denominada así por el *Señor de los Vientos* dentro de la mitología griega “Aeolus” (**Figura 2.1**), el cual al ser latinizado fue transformado a *Eolo*; así la *Energía Eólica* es definida como el aprovechamiento del contenido de la energía cinética en el viento, o bien, de las masas de aire en movimiento. Su aprovechamiento a gran escala también es conocido como generación eololéctrica y se efectúa mediante máquinas de alta tecnología llamadas aerogeneradores.



Figura 2.1 Representación de Aeolus en Mármol

El uso del viento como fuente energética no es un tema nuevo o de reciente aparición. Desde tiempos muy remotos la energía eólica ha sido aprovechada como fuerza motriz en la navegación y en la obtención de energía o fuerza mecánica en molinos de granos y el accionamiento de bombas mecánicas de agua¹. Sin embargo, los primeros esfuerzos por alcanzar el aprovechamiento del viento para generación de electricidad surgieron en la década de 1880; sin embargo, la madurez técnica se comenzó a lograr hace tan sólo 30 años y desde entonces, su uso ha proliferado rápidamente y se ha transformado en un mercado global creciente y maduro (Erickson, et al., 2001).

La energía eólica es una fuente renovable de energía que ha alcanzado su madurez tecnológica. A diferencia de los combustibles convencionales, no representa limitaciones en cuanto a su disponibilidad, a fin de cuentas el "combustible" no tiene costo y es infinito; asimismo carece de riesgos geopolíticos y de aquellos asociados a las variaciones de los

¹ En el Anexo B se presenta una breve historia del aprovechamiento de la energía eólica a lo largo de la historia de la humanidad.

precios dentro de los inestables mercados energéticos mundiales, así como otras limitaciones asociadas con la infraestructura y la dependencia hacia otros países; sin embargo lo mejor de todo es que el uso de energía eólica restringe totalmente las emisiones² de CO₂ lo que lo ha convertido en uno de los temas de mayor vigencia en el combate al cambio climático global. Por otra parte cabe mencionar que el continente europeo ha tomado la iniciativa en el desarrollo de la tecnología y ha consolidado su posición como líder mundial de mercado, con cerca del 61 % de la capacidad total instalada a escala mundial (EWEA, 2008).

Respecto a su capacidad técnica y en contraste con los tradicionales “molinos de viento” del Siglo XIX, los modernos aerogeneradores son capaces de transformar y entregar energía de alta calidad, a la frecuencia adecuada a la red de suministro. Estos modernos equipos son capaces de operar de forma continua, con una supervisión y mantenimiento mínimos durante cerca de 120,000 horas dentro de su vida útil esperada de 20 años. En comparación, el motor típico de un auto tiene una vida útil del orden de las 6,000 horas (EWEA, 2008).

Por otra parte, además de los beneficios económicos que también trae consigo su explotación, los beneficios ambientales de la energía eólica son evidentes respecto a otras fuentes energéticas. Por lo anterior la energía eólica ha tomado el liderazgo de las energías renovables y se ha colocado en el contexto internacional como un método eficaz para alcanzar el tan esperado desarrollo sostenible de la humanidad.

Así que tomando en cuenta lo anterior, en este capítulo se hace una breve descripción del origen del recurso eólico, para continuar con la síntesis del estado actual de la energía eólica a escala mundial y las ventajas que representa su explotación con respecto a otras fuentes energéticas; posteriormente, se desarrolla una breve descripción de los aspectos tecnológicos y económicos del emplazamiento de centrales eolieléctricas. Para concluir el capítulo se presenta el potencial estimado de aprovechamiento de energía eólica en nuestro país.

² Durante su fase operativa de generación de energía eléctrica.

2.2 Objetivos particulares del Capítulo 2

- i. Hacer una reseña de los aspectos técnico-económicos que han llevado al vertiginoso desarrollo y aprovechamiento de la energía eólica a escala mundial, lo que ha colocado a la energía eólica a la cabeza del aprovechamiento de las fuentes renovables.*
- ii. Analizar las ventajas del aprovechamiento de la energía eólica con respecto a otras fuentes energéticas convencionales.*
- iii. Analizar los beneficios económicos adicionales de la energía eólica, y como ésta representa una oportunidad de diversificación de actividades productivas en México (mostrando su compatibilidad con otras, tales como: ganadería y agricultura) y como un instrumento oportuno para mitigación de pobreza.*
- iv. Enfatizar el gran potencial eoloeléctrico, y en general de aprovechamiento eólico, de nuestro país, para ser aprovechado en beneficio de la población en general.*

2.3 Origen del Recurso Eólico

Los vientos ocurren por diferencias de presión generadas por un calentamiento no uniforme de la atmósfera terrestre, desplazándose así grandes masas de aire de las zonas de alta presión a las de baja. Aproximadamente el 2% de la radiación solar en forma de calor que llega a la tierra se convierte en energía cinética (3.5×10^{12} kW) (Asociación de Energía Eólica de Dinamarca, 2009); de esta sólo una fracción muy pequeña puede ser aprovechada ya que buena parte de estos desplazamiento de aire ocurren a grandes alturas o sobre los océanos. Las velocidades de viento promedio van de 0.25 m/s para los lugares con muy baja incidencia de viento hasta los 10 y 12.5 m/s para los más altos.

Los factores más importantes que determinan el comportamiento del viento son: la radiación solar y la rotación de la tierra. Las variaciones estacionales son debidas al ángulo de inclinación del eje relativo de la tierra y por lo tanto su posición con respecto al sol. Esto es lo que rige el comportamiento a nivel macro y de ahí se pueden estimar algunos sitios como los más probables de contener un potencial eólico. Los factores más importantes que determinan el comportamiento de los vientos a nivel micro son la topografía del lugar, altura, fricción sobre la superficie, montañas y los diferenciales de temperaturas entre el día y la noche. Para cada lugar la velocidad del viento es una variable aleatoria que corresponde a una serie en el tiempo con variaciones estacionales, cíclicas diarias e importantes variaciones debidas a turbulencias atmosféricas. Por lo anterior predecir totalmente el comportamiento del viento es prácticamente imposible, aunque sí es posible asumir ciertos valores y predecir sus características de intensidad y dirección con cierto nivel de confiabilidad.

Como es obvio de suponer, por limitaciones de tipo tecnológico sólo los vientos que fluyen sobre los primeros 150 m de altura respecto al nivel del suelo son aprovechables; asimismo, de acuerdo a los estudios realizados por el físico alemán Albert Betz en 1919, de los vientos disponibles solo una fracción puede ser convertida en energía útil, siendo el límite teórico de energía contenida en el viento que puede ser extraída por una máquina eólica de alrededor del 59%³. Debe considerarse que el contenido energético del viento es mayor cuanto mayor sea la

³ La relación exacta es 16/27.

altura⁴, debido al efecto de *cizallamiento* del suelo, el cual a su vez está determinado por las características de rugosidad del terreno.

2.3.1 La Energía en el Viento

El parámetro más importante en la consideración del viento como fuente energética, es su velocidad. A continuación se hace una deducción de una fórmula para entender lo anterior. Cualquier masa en movimiento posee energía cinética y el viento es aire en movimiento, así que la energía cinética está dada por:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} m V^2 \quad (1)$$

Donde m es la masa del aire y V su velocidad

Por otra parte, el flujo másico de aire (masa/tiempo) es igual su densidad multiplicada por la velocidad a la que viaja el aire en un tiempo dado por unidad de área A, esto es:

$$masa / tiempo = \rho V A \quad (2)$$

Sustituyendo (2) en (1) tenemos:

$$E_{cin}/t = \frac{1}{2} \rho A V V^2$$

Como la energía dividida entre el tiempo nos da potencia tenemos que:

$$P/A = \frac{1}{2} \rho V^3$$

Donde P/A se conoce como densidad de potencia y se expresa en W/m², la densidad del aire es diferente para cada sitio aunque para casos prácticos se asume un valor de 1 kg/m³. Como se puede observar la densidad de potencia es proporcional al cubo de la velocidad del viento.

Debido a esta función cúbica, unas pequeñas variaciones en la velocidad del viento, pueden representar grandes cambios en el contenido de energía y de ahí que en casos de tormentas, tornados, huracanes y ciclones los daños pueden ser sorprendentes.

Por ejemplo, si en un sitio medimos 5 m/s como media de velocidad y en otro cercano medimos 6 m/s, se puede evaluar el efecto de lo anterior en lo que respecta a disponibilidad de recurso eólico.

⁴ La energía contenida en el viento se incrementa con la velocidad elevada a la tercera potencia.

De la ecuación de densidad de potencia tenemos que:

$$P/A = \frac{1}{2} * 1 * 5^3 = 62 \text{ W/m}^2$$

$$P/A = \frac{1}{2} * 1 * 6^3 = 108 \text{ W/m}^2$$

Esto demuestra que un cambio de solo un 20% en la velocidad del viento puede resultar en un cambio del 72% en la densidad de potencia. La velocidad media es un parámetro que permite comparar un sitio de otro. Sin embargo el uso de la velocidad media puede subestimar el valor de densidad de potencia, ya que la velocidad es un término cúbico.

2.3.2 Clasificación de la Potencia del Viento

Existe una clasificación de la potencia del viento para diversas aplicaciones de la energía eólica (NREL, 2009). Las áreas de recurso eólico de Clase 4 y mayores se consideran adecuadas para el desarrollo de energía eólica para aplicaciones comerciales o de generación a escala mayor. Para el caso de las aplicaciones rurales o fuera de red se requiere un menor recurso eólico para que un proyecto sea viable; se estima que vientos dentro de la Clase 2 y mayores pueden ser suficientes para un pequeño desarrollo eólico viable. La **Tabla 2.1** representa la clasificación completa, de acuerdo a la densidad de potencia del viento y su velocidad media.

Tabla 2.1 Clasificación de la Potencia del Viento⁵.

Clase	Potencial del Recurso (Escala comercial)	Densidad de Potencia del Viento (W/m ²)	Velocidad del Viento (m/s)
1	Pobre	0 – 200	0.0 – 5.3
2	Escaso	200 – 300	5.3 – 6.1
3	Moderado	300 – 400	6.1 – 6.7
4	Bueno	400 – 500	6.7 – 7.3
5	Excelente	500 – 600	7.3 – 7.7
6	Excelente	600 – 800	7.7 – 8.5
7	Excelente	> 800	> 8.5

Fuente: Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos, 2009.

⁵ Estimado a una altura de 50 m.

2.4 Evolución y Estado Actual del Aprovechamiento de la Energía Eólica en el Ámbito Mundial

Como ya ha sido mencionado, el uso del viento para generación de electricidad no es un tema nuevo, pues los primeros esfuerzos por alcanzar el aprovechamiento del viento para dicho fin surgieron en la década de 1880, sin embargo, la madurez técnica se comenzó a lograr hace tan sólo 30 años y desde entonces, su uso ha proliferado rápidamente y se ha transformado en un mercado global creciente y maduro (Erickson, *et al.*, 2001). Los modernos aerogeneradores han mejorado su capacidad de conversión de energía, su eficiencia y su confiabilidad, lo que en conjunto con las políticas y medidas de fomento en diversos países ha permitido que los costos de generación eoloeléctrica se hayan abatido cerca de 50% durante los últimos 15 años, compitiendo cada vez más de cerca con las fuentes convencionales (GWEC, 2005).

El tamaño de los aerogeneradores se ha incrementado 100 veces respecto al año de 1980, y el diámetro de los rotores se ha incrementado 8 veces durante el mismo período (GWEC, 2006); asimismo, la velocidad de la punta de los álabes del aerogenerador está en el rango de los 220-290 km/h (61-80 m/s) (NWCC, 2004). Respecto a la capacidad de los aerogeneradores se estima que para centrales eoloeléctricas emplazadas en tierra, el tamaño promedio de los aerogeneradores actualmente está entre 1.8 y 2 MW; aquellos con capacidades mayores se están empleando mayoritariamente en proyectos en zonas marinas de baja profundidad (Gray, 2004).

2.4.1 Capacidad Instalada de Energía Eólica a Escala Global

El mercado global de la energía eólica se ha expandido más rápidamente que ninguna de las otras fuentes renovables de energía; en años recientes el ritmo de crecimiento promedio de la capacidad global instalada de energía eólica, de acuerdo a datos del *Global Wind Energy Council (GWEC)*, se ha mantenido a una tasa de 29%. Para el año 1995 se encontraban instalados tan sólo 4,800 MW eoloeléctricos en el mundo. Sin embargo, la capacidad total instalada a diciembre de 2008 rebasa ya 100,000 MW⁶ (GWEC, 2008). La instalación de centrales eoloeléctricas durante el año 2007, fue del orden de 19,500 MW, lo cual representó inversiones cercanas a 19 Mil Millones de Dólares. Con base en los hechos sucedidos durante los últimos años, el *GWEC* ha evaluado y considera que es viable alcanzar la meta de 1,260

⁶ A la fecha de publicación de su reporte más reciente, no se contaba con la cifra exacta, y esta es sólo una estimación de acuerdo a los proyectos que se encontraban en fase de construcción.

GW⁷ eoloeléctricos instalados al año 2020, con lo que sería factible cubrir cerca de 12% de los requerimientos totales de energía global para ese año⁸ (EWEA, 2005). La **Figura 2.2** muestra el crecimiento de la capacidad eoloeléctrica instalada en el mundo en el periodo 1995-2005.

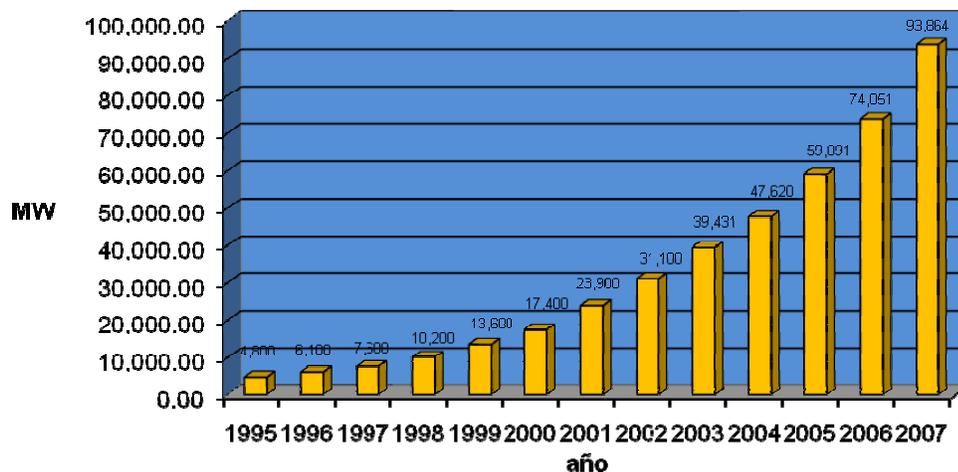


Figura 2.2 Capacidad Instalada Global Acumulada de Energía Eólica 1995-2007.
Fuente: Reporte Global de Energía Eólica 2008 GWEC

⁷ Aproximadamente 20 veces la capacidad eoloeléctrica instalada actualmente en todo el mundo.

⁸ De acuerdo con las estimaciones elaboradas por la Agencia Internacional de Energía, se requerirán 4,800 GW de nueva capacidad de generación de energía eléctrica.

Asimismo, la **Tabla 2.2** presenta la capacidad global total instalada por país de los 10 mercados más importantes, al final del año 2007.

Tabla 2.2 Capacidad total de Energía Eoloeléctrica instalada en los 10 mercados a escala global.

<i>Capacidad Total</i>	<i>MW</i>	<i>%</i>
Alemania	22,247	23.7
Estados Unidos	16,818	17.9
España	15,145	16.1
India	7,845	8.4
China	5,906	6.3
Dinamarca	3,125	3.3
Italia	2,726	2.9
Francia	2,454	2.6
Reino Unido	2,389	2.5
Portugal	2,150	2.3
Total de los 10 Mercados más importantes del Mundo	80,805	86.1
Resto del Mundo	13,060	13.9
<i>Total Global</i>	93,864	

Fuente: Reporte Global de Energía Eólica 2008 GWEC

Como se observa en la **Tabla 2.2**, en conjunto la Unión Europea se encuentra a la cabeza de la capacidad de generación eoloeléctrica mundial con **57,136 MW** instalados, lo cual representa el 61% de la capacidad total global instalada. Cabe mencionar que los países europeos ya han alcanzado su meta para el aprovechamiento de energía eólica incluso cinco años antes de lo establecido⁹. Adicionalmente, la *Asociación Europea de Energía Eólica (EWEA)*, considera que de seguir el actual ritmo de crecimiento, antes del año 2010 la energía eólica cubrirá un tercio del compromiso establecido en el Protocolo de Kioto para reducir la emisión de gases efecto invernadero adquirido por la Unión Europea (GWEC, 2006). Su meta para el año 2010 es de 75,000 MW instalados y 180,000 MW para el año 2020 (EWEA, 2008); se espera que de éstos, tan sólo para el 2015, más de 30,000 MW estarán instalados en aguas marinas poco profundas.

⁹ De acuerdo al Libro Blanco de la Comisión Europea se tenía la meta de contar con 40,000 MW instalados de centrales eoloeléctricas al año 2010.

Como se denota en la **Figura 2.2**, el vertiginoso crecimiento de la capacidad instalada en centrales eólicas es una consecuencia de decisiones relevantes tomadas a escala regional, considerando los beneficios que se pueden obtener de dicha fuente energética como una estrategia de desarrollo sostenible. Aunque cabe mencionar que en algunos países, como es el caso de México, todavía es necesario fortalecer los marcos regulatorios y las políticas públicas para fomentar aun más su expansión y tomar la mayor ventaja del potencial que representa (GWEC, 2007).

2.4.2 Ventajas de la Energía Eólica respecto a otras Fuentes Energéticas

En forma general, el emplazamiento de centrales eoloelectricas representa ventajas respecto a otras fuentes energéticas (GWEC, 2006); algunas de ellas se enlistan a continuación:

- *Cuando se dan condiciones de paridad, sus costos son competitivos con aquellos de la energía nuclear, el carbón y el gas natural;*
- *El viento es un recurso renovable que se encuentra disponible en forma abundante y prácticamente inagotable;*
- *En una fuente limpia de energía, pues no emite CO₂;*
- *No presenta problemas de volatilidad de precios, como ocurre con otros combustibles;*
- *Disminuye la dependencia en combustibles fósiles;*
- *Se puede instalar de forma modular y rápida;*
- *Es capaz de abastecer cantidades de energía equivalentes a las fuentes convencionales; y*
- *Es compatible con las actividades agropecuarias e industriales, pues estas pueden seguir siendo llevadas a cabo en conjunto.*

Por otra parte, para entender el contexto y el gran desarrollo de la energía eólica en diversos países alrededor del mundo, sobre todo en los industrializados, es importante tomar en cuenta la siguiente consideración del organismo “*Global Wind Energy Council*” (GWEC), el cual agrupa a las principales organizaciones de la industria eólica mundial:

“El mundo está al borde de una crisis energética. El desafío energético global requiere acciones urgentes en tres áreas: detener la amenaza del cambio climático, satisfacer la demanda creciente de energía y salvaguardar la seguridad del su suministro. La energía

eólica es un recurso poderoso y significativo. Es segura, limpia y abundante. La energía eólica debe ser una parte de la solución a este desafío global.”

Esta consideración es tan solo una muestra de la importancia que la energía eólica ha alcanzado en el consenso mundial, como un instrumento eficaz para alcanzar el desarrollo sostenible global y abatir, sobretodo, el cambio climático global; adicionalmente, según estimaciones de la industria eólica a nivel mundial, para el año 2050, la energía eólica puede satisfacer un tercio de los requerimientos mundiales de electricidad, evitando la emisión de 113 billones de toneladas de CO₂ (AWEA, 2009).

2.4.3 Políticas Exitosas en la Promoción de la Energía Eólica

2.4.3.1 Caso: Unión Europea

Uno de los casos más exitosos en la promoción de la energía eólica es el de la República Federal de Alemania, que con su Ley de Energías Renovables ha instalado 19,460 turbinas eólicas con una capacidad total de 22,247 MW, las cuales generaron 39,5 TWh de electricidad procedente del viento, tan sólo durante el año 2007. Esta cantidad representó más del 7% del consumo total de electricidad de este país. Adicionalmente de los beneficios energéticos, cabe mencionar que los fabricantes alemanes de turbinas y componentes eólicos tienen una cuota del 37% del mercado mundial, significando ingresos de alrededor de 6 Mil Millones de Euros para el mismo año 2007, a través de exportaciones y lo cual ha traído como consecuencia la generación de más de 100,000 empleos directos (Asociación de Energía Eólica de Alemania BWE, 2008).



Figura 2.3 Aerogenerador de 2.3 MW instalado a una altura de 100 m en Halle, Alemania.

Fuente: Daylife News, <http://www.daylife.com/>

Dinamarca representa también un caso muy exitoso del aprovechamiento de la energía eólica, pues sus escasos recursos energéticos de origen fósil han creado la necesidad de buscar alternativas para cubrir sus requerimientos de energía. Para el año de 1973 el total de sus necesidades eran cubiertas por combustibles importados (Borja et, al., 2005), por lo que a partir de la crisis petrolera de ese año el Gobierno danés tomó la decisión de implementar acciones encaminadas al uso eficiente de sus escasos recursos petroleros. Por lo anterior fueron reconvertidas sus centrales eléctricas de combustóleo a carbón y fue instituido un programa de investigación y desarrollo de tecnologías de energías renovables, dando mayor énfasis a la energía eólica, de la cual ya tenían bastante experiencia y conocimiento. La estrategia se encaminó tanto a generadores de tamaño mayor, apoyada por el Gobierno y las empresas eléctricas; así como a pequeños aerogeneradores, donde principalmente pequeñas y medianas empresas estuvieron involucradas. Para el año 1990, el Gobierno emitió su plan energético que establecía como meta la instalación de 1,500 MW de energía eólica para el año 2005, aunque el programa tuvo tal éxito que para tal año se tenían instalados 3,128 MW (GWEC, 2006).

La política del Gobierno danés ha sido marcada por un marco regulatorio adecuado, manteniendo altos estándares de calidad tecnológica, basada en la investigación y el desarrollo de nuevos conocimientos; ambas actividades financiadas con fondos públicos, para de esta manera mantener la producción de energía y una fuente de empleo confiable en Dinamarca; todo lo anterior además de aplicar amplios programas de educación para lograr la aceptación pública de los aerogeneradores. Por otra parte, aun existe la propuesta de implementar un nuevo plan de inversiones en energía eólica con ambiciosos objetivos de expansión e instalación, tanto en tierra como en aguas poco profundas, como una opción para proteger la oferta y seguridad energética de ese país (Asociación de Energía eólica de Dinamarca, 2009).

España también ha sido un país que ha impulsado enormemente el desarrollo de la energía eólica mediante diversas políticas establecidas por su Gobierno; en especial leyes y reglamentos específicos para el desarrollo apropiado de las energías renovables y un apoyo constante a la investigación y desarrollo, así como un proceso de asimilación y transferencia tecnológicas, buscando con esto la creación de una industria eoloeléctrica propia. Estas políticas han llevado a España a convertirse en el tercer país con mayor capacidad instalada en el mundo, con 15,415 MW, con lo cual es capaz de suministrar el 10% del consumo

energético de este país europeo y con el firme objetivo de contar con 20,000 MW instalados para el año 2010 (GWEC, 2008).

2.4.3.2 Caso: Estados Unidos

En los Estados Unidos han sido desarrollados mecanismos de promoción de energía eólica, principalmente mediante incentivos fiscales, el desarrollo del portafolio de las energías renovables que, por ejemplo, en el caso del estado de Texas ha demostrado ser un excelente modelo de fomento, llevando a este estado a ser el líder en los Estados Unidos en cuanto a energía eólica se refiere (AWEA, 2008), pues sus incentivos básicamente han sido que las empresas distribuidoras de electricidad están obligados a comprar cierta cantidad de energía proveniente de renovables mediante un sistema denominado "Créditos de energía renovable", el cual cada uno equivale a 1 MWh de energía.

A escala federal, existen los denominados Fondos para el Beneficio de los Sistemas, el cual se distribuye a través de tres metodologías: incentivos a la producción, incentivos a la inversión y desarrollo de infraestructura. Mediante estos se colectarán alrededor de 3.5 billones de dólares al año 2014 y con lo cual se fomentarán más de 1,000 MW eólicos en los próximos años. El Mercado Verde de Energía es otro de los mecanismos propuestos para el desarrollo de proyectos, estableciendo un valor monetario para los beneficios medioambientales obtenidos con las centrales eoloelectricas, además de dar a conocer a las energías renovables como una herramienta eficaz en el abatimiento de las emisiones de CO₂ y promover la conciencia de los consumidores de energía eléctrica, siendo usualmente proyectos de pequeña escala y contratos de corto plazo.



*Figura 2.4 Central Eoloeléctrica en las Montañas Guadalupe cerca de El Paso, Tx., Estados Unidos.
Fuente: Alternative Energy Institute (AEI), WTAMU.*

Adicionalmente, para los consumidores existen diferentes formas de comprar energía verde; la primera y más común es a través de un mercado competitivo en el cual los consumidores tienen la opción de elegir a la empresa que ellos consideren como su mejor opción para la compra de electricidad proveniente de fuentes renovables. Otro método es a través de precios de venta de energía verde, que consiste en que las empresas ofrecen a los consumidores la elección de apoyar la construcción de plantas de energía renovable, mediante la compra de paquetes de energía renovable. El tercero consiste en etiquetas verdes, los cuales son atributos medioambientales separados de la generación de energía. También se sabe que donde actualmente no se están desarrollando proyectos con energías renovables es porque existen restricciones en la capacidad de transmisión o porque la competencia en la generación de energía es muy fuerte y hasta cierto punto barata, para poner un ejemplo la crisis energética de California sufrida en el año 2000 fomentó el desarrollo de pequeñas centrales eólicas en el estado, ocasionado por el incremento en los precios del gas natural y por ende de la electricidad, lo cual también provocó la desconfianza de los usuarios respecto a la confiabilidad del suministro de energía. Asimismo, se ha desarrollado un programa de desarrollo y fomento de pequeñas turbinas, con el cual se contempla incentivar el uso de éstas mediante la aplicación de algunos fondos y la exención de impuestos; estos esquemas ya se

dan en algunos estados¹⁰, así como los programas de medición neta para compraventa de energía eléctrica (GWEC, 2008).

2.4.3.3 Caso: Países Asiáticos

Dos países que también han fomentado el uso de energía eólica en Asia han sido China y la India, quienes cuentan con 5,906 y 7,845 MW instalados respectivamente. El Gobierno chino ha apoyado el desarrollo de su propia industria eólica, como una estrategia de reducción de costos de producción y de generación de empleos, con los consecuentes beneficios económicos que esto conlleva. Adicionalmente, considerando que la mayoría de sitios con buen recurso eólico se encuentran en regiones rurales, con cierto grado de pobreza, la construcción de centrales eólicas ha desarrollado las economías de dichos sitios, no solo a través de la generación de empleos, sino con las ganancias generadas con la venta de energía. Por su parte, el Gobierno hindú ha promovido el uso de la energía eólica mediante programas de fomento de energías renovables, principalmente mediante tarifas preferenciales y la obligatoriedad de las compañías eléctricas a contar con cierta cantidad de su energía comercializada proveniente de fuentes renovables, que en algunos casos alcanza hasta el 10% de la misma (GWEC, 2008).

2.4.3.4 Caso: Latinoamérica

En el caso de Latinoamérica, al final del año 2008, Brasil encabezaba la lista en cuanto a capacidad instalada se refiere con 247 MW. Aunque cabe destacar que este país ha concentrado mayoritariamente sus esfuerzos al aprovechamiento de la biomasa (GWEC, 2008). Lo anterior es como consecuencia de que para el 2004 fue emitido un decreto para que la Compañía Eléctrica Estatal, **Electrobras**, se comprometiera a comprar energía proveniente de fuentes renovables, dentro del marco del Programa de apoyo a la Energía Renovable, **“Proinfra”**. La capacidad comprometida fue de 3,300 MW, dividida tres en partes iguales de eólica, biomasa e hidroeléctricas de pequeña escala. Para el pago de la electricidad, este proyecto considera los factores de planta de los emplazamientos, pagando alrededor de siete centavos de dólar por kWh generado, para sitios de hasta 34% de factor de planta, y para sitios en el rango del 34% a 42% el pago es de 6.2 centavos de dólar. Así, con este proyecto el

¹⁰ Para mayor información sobre incentivos, se puede consultar la Base de Datos de Incentivos para Energías Renovables y Eficiencia Energética en los Estados Unidos; <http://www.dsireusa.org/>.

Gobierno de Brasil contempla atraer inversiones por 3,000 Millones de dólares en inversión directa y generar alrededor de 150,000 empleos (Borja, et al., 2005).

2.5 Avances Tecnológicos en el Aprovechamiento de la Energía Eólica

2.5.1 Desarrollo de Rotores

La configuración del rotor (álabes y cubo) determina el diseño del resto de la turbina, porque en función del perfil aerodinámico y las propiedades mecánicas de los álabes serán las cargas a soportar y la forma como éstas son transmitidas al resto de los componentes. Las nuevas formas aerodinámicas de los álabes han incrementado su desempeño en alrededor del 30% con respecto a los de hace 10 años. Las investigaciones han desarrollado estudios tendientes a evaluar las propiedades estructurales de un rango amplio de diseños aerodinámicos y de tamaños.



Figura 2.5 Rotor de una Turbina eólica en reparación en la central eoloeléctrica de Ponnequin, Colorado, Estados Unidos.

Fuente: Propia.

La investigación y desarrollo en el campo de la energía eólica se han enfocado hacia el diseño de nuevos rotores que podrían reducir las cargas en los álabes, permitiéndoles ser más grandes pero a la vez más ligeros. El primer paso consistió en desarrollar ensambles de rotores para evaluar los impactos de diferentes configuraciones en los costos de generación. En Estados Unidos las investigaciones se han desarrollado mediante modelos dinámicos con los cuales ha sido posible determinar y predecir la respuesta con diferentes configuraciones de rotores.

Las opciones o variables dentro de la configuración incluyen, por ejemplo, el número de álabes y la orientación de los mismos (ya sea barlovento¹¹ o sotavento¹²) lo cual determina como será el resto de la turbina, su movimiento y flexibilidad permitida en los álabes y del cubo y la manera en que los álabes son empleados como medio para controlar la velocidad y la potencia de la turbina. Con estos datos se determinan los efectos de las cargas impuestas, los materiales requeridos, el ruido generado, su factibilidad de fabricación y los efectos dinámicos en el resto de los componentes. Todos estos estudios determinan las ventajas del uso de cada una de las posibles configuraciones de los rotores, respecto a su ligereza, sus costos y finalmente el desempeño del rotor. También se realiza un análisis de costos, el cual considera los costos de capital, de manufactura y su impacto en la operación y mantenimiento de la turbina.

2.5.2 Mejoras de los Álabes

Se han realizado estudios para determinar el límite actual de tamaño de los álabes, tomando en cuenta los métodos de fabricación, diseños y materiales actuales, ya que entre más grande sea éste, su peso se incrementa más rápidamente que su capacidad de captar energía; mientras ésta se incrementa al cuadrado del largo del álabe, el peso se incrementa al cubo de la longitud del mismo.

Asimismo, el incremento en peso incrementa linealmente los costos de fabricación. Así que en el punto donde las fuerzas gravitatorias empiezan a ser factores relevantes, el incremento en el largo del diámetro, empieza a no ser justificado. Por lo anterior, las investigaciones tienden a usar nuevos materiales para vencer los factores de peso y el incremento de costos. Estas investigaciones se enfocan hacia cambios en los procesos de manufactura, en los diseños y los materiales empleados, como es el caso de fibras de carbono o híbridos de carbono y vidrio; estos materiales ya están reemplazando al acero, la fibra de vidrio y madera que actualmente se utilizan de forma mayoritaria. Por otra parte, los trabajos en el área de manufactura se enfocan principalmente hacia procesos de alineación de las fibras y su compactación que reduce los vacíos en los materiales, haciéndolos más ligeros y resistentes. El álabe más grande construido actualmente es de una longitud de 63 metros para una turbina de 6 MW de capacidad.

¹¹ También son conocidos como de corriente arriba y tienen el rotor en la parte frontal de la torre.

¹² También son conocidos como de corriente abajo y tienen el rotor en la parte posterior de la torre.



Figura 2.6 *Moderno álabo de una turbina eólica, Centro Nacional de Pruebas de Energía Eólica, Boulder, Colorado, Estados Unidos.*
Fuente: Propia.

2.5.3 *Diseño de las Cajas de Engranajes*

Este componente ofrece un potencial de reducción de costos importante y debe ser considerado como un factor muy importante de diseño. Actualmente, la mayoría de los aerogeneradores utilizan una caja de engranes para incrementar la velocidad de rotación del generador, desde 10 a 30 revoluciones hasta las 1,200 ó 1,800 rpm, requeridas para la generación de energía a la frecuencia eléctrica requerida para su suministro a las líneas de transmisión.

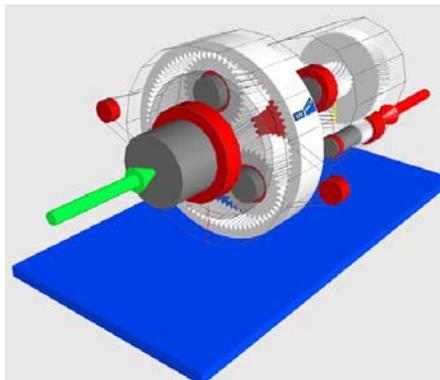


Figura 2.7 *Esquema de la transmisión de una moderna turbina eólica diseñada con la ayuda de paquetes de computación especializados.*
Fuente: Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos.

En la misma proporción en que los aerogeneradores aumentan su capacidad, las dimensiones físicas y peso de las cajas de transmisión se incrementan enormemente, lo cual incrementa el costo de producción y complica la logística de transporte, instalación y mantenimiento. Para sobrepasar esta barrera se buscan nuevas y mejores configuraciones para ser adaptadas a los

aerogeneradores. Estos conceptos incluyen el desarrollo de transmisiones de baja velocidad que reducen el peso de los equipos en la parte superior de la torre; otra opción es incrementar su eficiencia de conversión mediante el uso de componentes electrónicos que reducen las pérdidas inherentes a las operaciones de velocidad variable.



Figura 2.8 Caja de engranes de una turbina eoloelectrica Vestas de 700 kW.
Fuente: Propia.

2.6 Aspectos Económicos del Aprovechamiento de la Energía Eólica

Previamente se han discutido los avances tecnológicos de la energía eólica, sin embargo la economía del aprovechamiento del viento también juega un papel relevante en el desarrollo de proyectos. En términos generales el costo de generación de la energía eólica depende de diversos factores que varían de acuerdo al país y la región donde se emplace el proyecto; a fin de cuentas dependerá también de las condiciones propias del recurso eólico en el sitio. El combustible de las centrales eoloelectricas no tiene costo alguno, por lo que en la evaluación final del costo de generación, además del precio del propio aerogenerador deben considerarse aspectos como: el recurso eólico del sitio, el terreno, distancia de interconexión a las líneas de transmisión y la instalación de los sistemas de balance.

2.6.1 Costos Involucrados en el Desarrollo de la Energía Eólica

Los fabricantes de aerogeneradores han reducido el costo de la generación mediante la implementación de técnicas modernas de fabricación, empleando las ventajas que dan las últimas herramientas de ingeniería, aplicando nuevos conceptos a diseños existentes e incrementando el tamaño de las turbinas, con lo cual se ha incrementado su rango de potencias de apenas unos cuantos KW hasta tener turbinas de unos 5 MW ya disponibles en el mercado para aplicaciones en aguas marinas o incluso en tierra. Así que una de las vías para reducir los

costos de la energía es incrementar el tamaño de las turbinas mediante el desarrollo tecnológico.

En el año de 1997 el tamaño promedio de los aerogeneradores instalados se encontraba entre los 600 y los 750 kW. Para el año 2008 el tamaño promedio de instalación de los aerogeneradores de 1.5 MW y muchos fabricantes se encuentran ya también instalando aerogeneradores de hasta 5 MW, las cuales se encuentran básicamente enfocadas para instalaciones en aguas marinas pocas profundas de las costas europeas, donde la disponibilidad de espacio es un factor importante a ser considerado (GWEC, 2008). Actualmente existe un prototipo de 6 MW en fase de pruebas; la torre es de 138 metros de altura y el diámetro del rotor es de 126 metros (**Figura 2.8**); a pesar de su enorme tamaño, la turbina es más fácil de instalar que sus predecesores, debido a que los álabes se encuentran diseñados en dos secciones y pueden ser transportados por separado y ensamblados en el sitio de emplazamiento.



Figura 2.9 Turbina eoloeléctrica Enercon-E126 de 6 MW de capacidad¹³.
Fuente: Treehugger, <http://www.treehugger.com>

Esta tendencia en el tamaño de los aerogeneradores es guiada por cuestiones económicas, porque los aerogeneradores pueden generar mayor energía si el tamaño del rotor es mayor, lo que requiere también torres y generadores de mayor tamaño. Para aplicaciones en zonas marinas de poca profundidad, el incremento es justificado de mayor manera debido a que los costos de la plataforma, cimentaciones y el cable de conducción de energía hacia tierra son altos, por lo que es mejor instalar una turbina del mayor tamaño posible, dentro de las limitaciones de diseño de las plataformas. Además existen varias razones por las que

¹³ Al momento de la realización del presente trabajo era la mayor turbina eoloeléctrica del mundo.

incrementar el tamaño de las turbinas reduce el costo de la energía generada, como es el hecho de que para ciertas características de alta velocidad y turbulencia de viento, es posible extraer mayor cantidad de energía.

Los fabricantes argumentan que también los costos de fabricación se reducirían por un factor de escala. Sin embargo, estudios realizados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos usando modelos de costo y de escalamiento, indican que con la tecnología actual, lo más grande no significa lo más barato, pues dichos estudios muestran que los costos decrecen hasta un punto y entonces empiezan a incrementarse, aunque como ya ha sido denotado, el desarrollo de materiales más ligeros y resistentes está jugando un papel fundamental para incrementar de forma económica el tamaño de las turbinas eólicas (Gómez, 2001).

Así en forma general, el reto actual de la investigación y desarrollo de las máquinas eólicas es perfeccionar su tecnología para lograr captar la mayor cantidad de energía del viento y lograr mayor confiabilidad de los sistemas para entregar la energía a los clientes a un precio competitivo. Para el año de 1980 el costo de generación se encontraba en alrededor de los 35 centavos de dólar por kWh; sin embargo, el día de hoy dicho costo está en el rango de entre 4 y 6 centavos de dólar por kWh.

2.6.2 Costos de Instalación de la Energía Eólica

Actualmente el costo promedio de capital para la instalación de turbinas mayores a 250 kW de capacidad, se encuentra en alrededor de los 1,300 USD por kW (Mathew, 2007), lo cual incluye los componentes desglosados en la **Tabla 2.3** y **Figura 2.10**.

Tabla 2.3 Desglose de los costos de instalación de la energía eólica.

<i>Concepto</i>	<i>Porcentaje del costo inicial</i>
Turbinas	49 %
Torre	20 %
Construcción y obra civil	11 %
Infraestructura eléctrica	9 %
Acondicionamiento de la energía e interconexión a la red	7 %
Instalación	2 %
Otros: costos administrativos y otras actividades, cuotas legales y de financiamiento, etc.	2 %

Fuente: Mathew, 2007.

Cabe mencionar que este costo de instalación incluye un 30% de la compra del terreno requerido para la instalación de los aerogeneradores, y tomando en cuenta que éstas únicamente ocupan alrededor del 5% de todo el terreno de la central eoloeléctrica, el resto de la superficie puede ser destinado para otras actividades productivas. En el caso de que la tierra se rente, este costo deberá ser incluido en el rubro de costos de operación y mantenimiento.

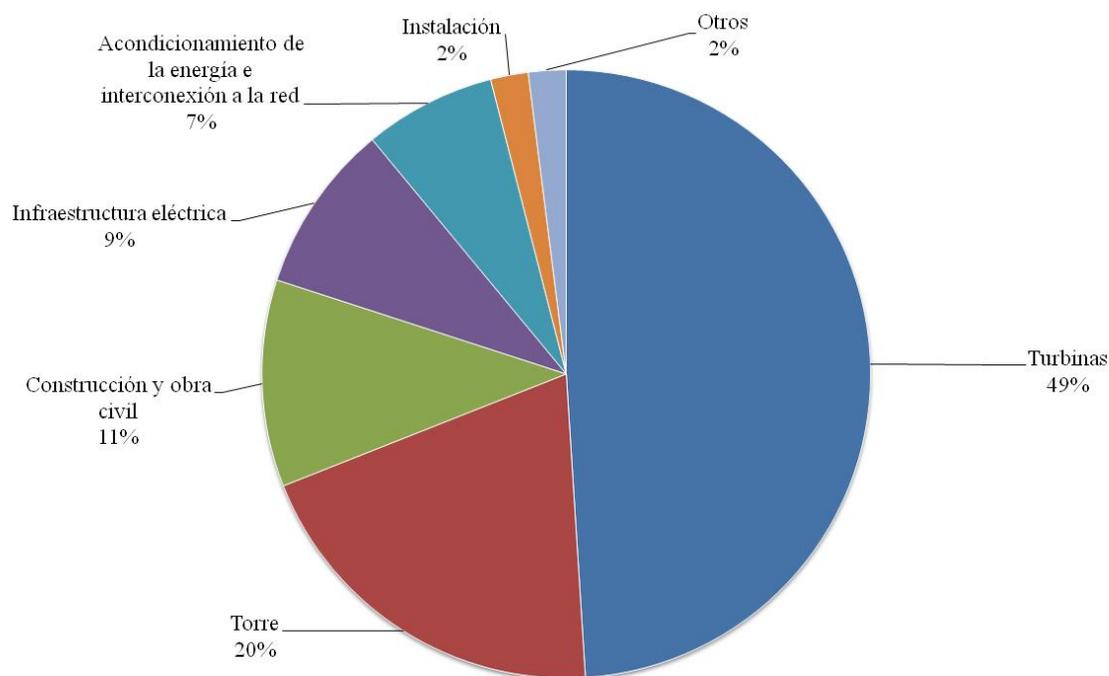


Figura 2.10 Desglose de los Costos de Instalación de la Energía Eólica.
Fuente: Elaboración propia con datos de Mathew (2007).

2.6.3 Costos de Operación y Mantenimiento de la Energía Eólica

En una planta de generación de electricidad, el mayor componente de los gastos de operación y mantenimiento es el combustible, lo cual como ya se ha mencionado, en una central eoloeléctrica es gratis. Sin embargo, y a pesar de que los modernos aerogeneradores están diseñados para trabajar durante unas 120,000 horas a lo largo de su vida útil de 20 años, estos equipos requieren de cierta atención y mantenimiento para mantenerlas operando satisfactoriamente; por lo anterior, esta actividad es un componente importante para lograr dichas metas operacionales. Los costos de mantenimiento son generalmente inferiores a aquellos de las centrales convencionales de generación de electricidad. El mantenimiento programado de aerogeneradores suele ser programado dos veces por año, lo que resulta en unos 12 a 18 horas de inactividad para cada uno de los mantenimientos desarrollados. En

general, sólo algunas turbinas en una central eoloeléctrica son detenidas para llevar a cabo las actividades de mantenimiento. La única vez que toda la instalación se cierra por completo es para el mantenimiento de la subestación, que normalmente dura sólo 12 horas, aproximadamente, y se produce dos veces al año durante los períodos de baja producción.

Los dos componentes que sufren de mayor desgaste son las cajas de engranes y los generadores eléctricos, debido a que las cargas variables a las que son sometidos, son extremadamente difíciles de predecir. Por lo general, los álabes no requieren ningún tipo de mantenimiento, pues lo único que requieren es limpieza y dentro de cierto periodo llevar a cabo una inspección visual (AWEA, 2008). Asimismo, otros costos a considerar en la operación de las centrales eoloeléctricas son el pago de impuestos y los salarios de los operadores. En forma general, para estimar los costos de operación y mantenimiento es práctica común considerar alrededor de 1.5 a 2% anual del costo total de instalación de la central eoloeléctrica, que si consideramos unos 1,300 dólares por kW instalado, entonces se puede considerar un costo de alrededor de unos 20 a 26 dólares por kW instalado.

2.6.4 Costos de Generación de la Energía Eólica

A pesar de que los costos de generación han decrecido significativamente se considera que nuevas mejoras y avances podrían reducir estos costos de un 30 a 50% más. La meta propuesta por el Departamento de Energía los Estados Unidos es alcanzar costos de 3 centavos de dólar por kWh en sitios de potencial moderado para el período 2007-2015. Asimismo, la economía de escala presenta un papel muy importante en el costo de generación, pues por ejemplo, dos centrales eólicas, una de 3 y otra de 51 MW, presentan costos de 5.9 y 3.6 centavos de dólar respectivamente, para una misma velocidad de viento, lo cual evidencia el aprovechamiento de estas ventajas (AWEA, 2009). Actualmente la generación con aerogeneradores en sitios con buen recurso eólico¹⁴ presenta costos competitivos, pues como se presenta en la **Figura 2.11**, actualmente los costos de generación a base de energía eólica son únicamente superados por plantas de generación eléctrica a base de gas natural.

¹⁴ Con velocidades promedio de viento superiores a 7 m/s.

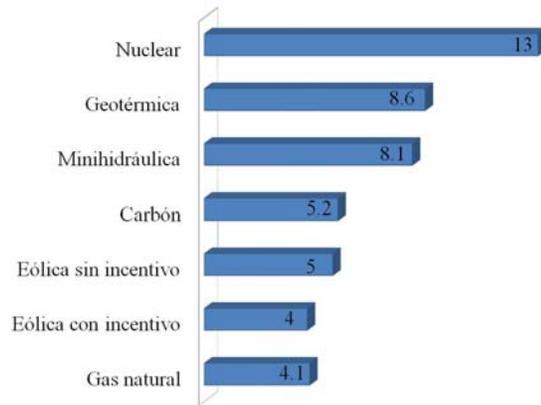


Figura 2.11 Comparación de costos de generación de la energía eoloeléctrica con diversas fuentes energéticas Centavos de Dólar por kWh.
Fuente: AWEA, 2009.

En lo que respecta a la comparación de costos con otras fuentes de energías renovables, el aprovechamiento de la energía eólica únicamente es superada por la combustión directa de biogás generado a partir de rellenos sanitarios y de algunos tratamientos de agua, la cual utiliza motores convencionales de gas natural adaptados para la quema del biocombustible, pues ambos combustibles son similares en su composición ya que en su mayoría ambos están conformados por metano. La **Figura 2.12** presenta para su comparación los costos nivelados de generación por kWh de diversas tecnologías de aprovechamiento de energías renovables.

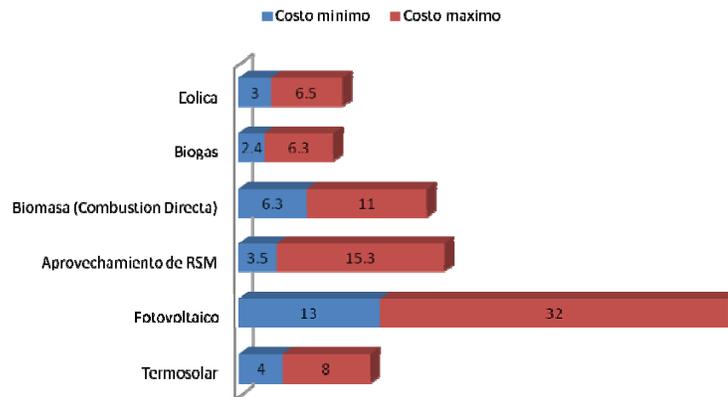
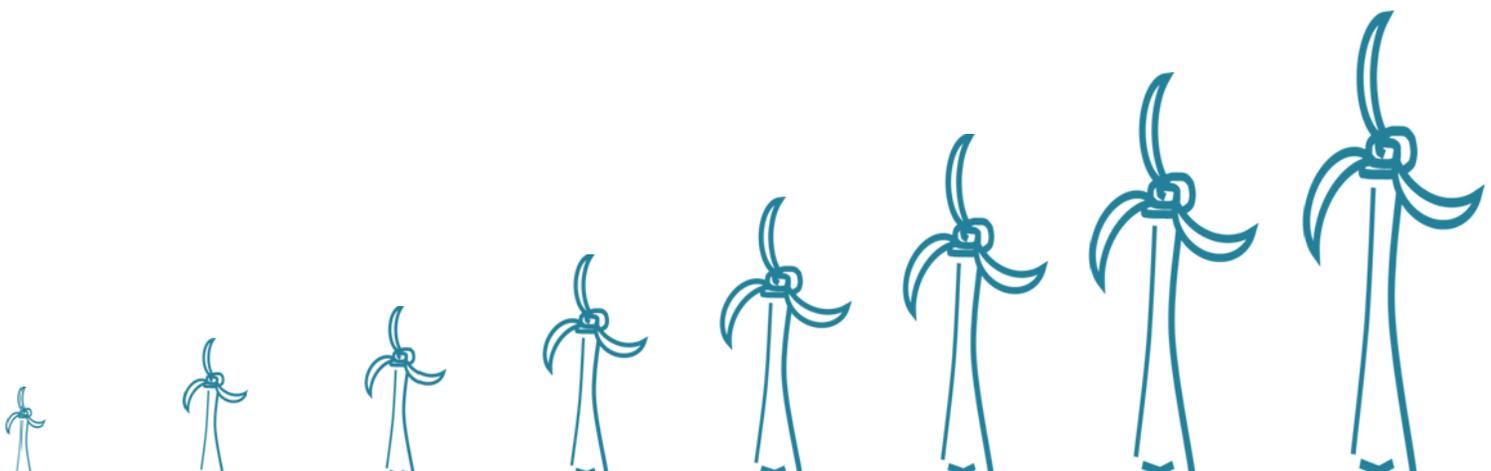


Figura 2.12 Rango de Costos Nivelados de Generación para diversas tecnologías de energías renovables Centavos de Dólar por kWh.
Fuente: Utility Solar Water Heating Initiative, Letter to Florida Public Service Commission, July 2008.

Por todo lo previamente mencionado y a manera de resumen se puede mencionar que a lo largo de más de 25 años ha evolucionado en costos y tamaños de las turbinas como puede observarse en la **Tabla 2.4**.

Tabla 2.4 Evolución del desempeño de las turbinas eólicas 1981-2009.



Concepto	1981	1985	1990	1998	1999	2000	2005	2009
Rotor(metros)	10	17	27	40	50	71	115	126
Altura del cubo (m)	30	40	50	78	90	100	120	138
Potencia(kW)	65	165	300	580	730	1,300	5,000	6,000 ¹⁵
Costo total(USDx103)	25	100	225	550	750	1,500	3,200	N/D
Costo por kW (USD)	2,600	1,650	1,333	1,050	950	790	640	N/D
Energía generada (MWh)	45	220	550	1,480	2,200	5,600	17,000	20,000

Fuente: Elaboración propia a partir de diversas fuentes de información.

¹⁵ Algunas pruebas realizadas al aerogenerador han mostrado que puede alcanzar hasta una capacidad de 7,000 kW.

2.6.5 Otros Beneficios Económicos Asociados con la Energía Eólica

Por otra parte, las centrales eoloelectricas también pueden traer beneficios económicos para las comunidades donde se emplazan, ya sea mediante la recolección de impuestos o la generación de empleos, tanto en las fases de monitoreo, medición de viento y la propia construcción, como en la operación y mantenimiento de las centrales; por ejemplo, la ***Asociación de la Energía Eólica de Alemania (BWE)*** ha estimado que para el año 2008, esta industria ha generado, tan sólo en Alemania, alrededor de 100,000 nuevos puestos de trabajo directos y el ***Global Wind Energy Council (GWEC)***, ha estimado hasta 329,000 puestos de trabajo, a escala global para el año 2007 (GWEC, 2008). Las estimaciones actuales indican que la tasa de generación de empleos es de aproximadamente 15 por cada Megawatt (MW) instalado, aunque cuando se desarrollen y optimicen los procesos la tasa será de 11 empleos por MW. Adicionalmente, la generación de empleos indirectos se estima en 0.33 por cada MW instalado (GWEC, 2008).

Aunados a los beneficios ambientales, la energía eólica puede traer otros tipos de beneficios adicionales en los sitios donde se instala (Borja, et al., 1998), tales como:

- *Desarrollo regional;*
- *Fomento de la inversión privada;*
- *Creación o fortalecimiento de pequeñas y medianas empresas;*
- *Abastecimiento local de energía eléctrica;*
- *Ahorro y menor dependencia de combustibles fósiles; y*
- *Disminución en los riesgos asociados al abastecimiento de energía eléctrica en el contexto nacional.*

A la luz de estos beneficios existen ejemplos de proyectos que han sido desarrollados en zonas rurales, lo que ha traído desarrollo económico para éstas, pues en ocasiones se ha demostrado es más redituable la instalación de generadores eólicos que la agricultura. Esto no quiere decir que se proponga de alguna forma que las tierras dejen de producir alimentos, sino al contrario al contar con fuentes de energía, dichas áreas se vuelven zonas más tecnificadas lo que también representa una oportunidad para incrementar su productividad por unidad de área. A fin de cuentas las actividades agrícolas y de aprovechamiento de energía eólica son totalmente

compatibles, pues en muchos sitios donde se han emplazado centrales eoloeléctricas se han continuado las actividades agrícolas con una perturbación mínima y sin riesgo alguno para los trabajadores del lugar o para el ganado (**Figura 2.13**), con lo cual para el caso de México es una opción para conservar e impulsar la ocupación económica y fortalecer la economía social promoviendo la diversificación en el campo a través de actividades no agropecuarias, tales como: la conservación de los recursos naturales y producción de bienes y servicios de toda índole, lo que coadyuva a elevar el bienestar de la población rural.



Figura 2.13 La energía eólica es compatible con las actividades ganaderas en la central eoloeléctrica de Ponnequin, Colorado, en los Estados Unidos.

Fuente: Propia.

Asimismo, dichos proyectos promueven inversiones locales, generando empleos, lo que disminuye la tendencia migratoria del sector rural hacia centros urbanos mitigando los problemas que esto conlleva, como es el incremento de asentamientos irregulares y la desadaptación de los emigrantes que no encuentran los trabajos requeridos y la desintegración familiar en las localidades de donde emigran; lo anterior en forma general promueve el desarrollo regional equilibrado y sobretodo sostenible, entrelazándose y logrando un efecto de sinergia sobre el sector rural. Para el caso de México, es bien conocido el hecho de que existen zonas rurales que cuentan con buen recurso y en el caso de Oaxaca, excelente, donde se podrían instalar generadores que no necesariamente tienen que ser de cientos de kilowatts, sino de mediana potencia que les permitirían abastecerse de energía, para además de capitalizarse, sembrar y cosechar con mayor tecnología lo que elevaría el nivel de vida de estas poblaciones marginadas, o en su caso buscar alguna forma de asociación con los propietarios de los terrenos, para que ellos también obtuvieran beneficios económicos del recurso eólico. A pesar de lo anterior, y de

acuerdo a algunas notas periodísticas¹⁶, parece ser que en el desarrollo de algunos proyectos en México han existido irregularidades y no han sido del todo justos para los ejidatarios, lo que ha ocasionado el brote de algunos problemas sociales; han existido denuncias y un creciente descontento de un numeroso grupo de ejidatarios y comuneros de la región del Istmo de Tehuantepec, sobretodo en la fase de contratación de más de 10,000 hectáreas de tierras para la construcción de parques eólicos. Asimismo, existe falta de información para los dueños de la tierra y en lo que respecta al pago por el uso de las tierras, éste es de tan sólo \$1,500 pesos por hectárea al año, lo que contrasta, por ejemplo, con los pagos en Estados Unidos donde dicho valor alcanza los hasta los \$30,000 pesos, o inclusive un poco más, por el uso de la tierra. Esta falta de certidumbre ha ocasionado que se detengan proyectos ya en fase de desarrollo, ocasionados en ocasiones por bloqueos en las aéreas de trabajo, como consecuencia de conflictos con los comisariados ejidales.

Las negociaciones por los contratos de arrendamiento y por el pago del usufructo de la tierra no deberían ser un limitante para el desarrollo los proyectos eoloeléctricos, pero a su vez éstos deben traer beneficios a la población, mediante pagos justos indexados a la generación de energía lo cual sin duda sería una herramienta para mitigar la pobreza y ofrecer mejores condiciones de vida para los habitantes de las regiones donde existe el recurso eólico, por lo que deben instrumentarse acciones para que exista justicia en la explotación del recurso eólico, y que las relaciones entre los desarrolladores y los dueños de la tierra se lleve a cabo en forma cordial y en un ambiente de buena voluntad de ambas partes para alcanzar arreglos que sean convenientes para todos.

2.7 México, un País con Gran Recurso Eólico

2.7.1 Potencial de Aprovechamiento del Recurso Eólico en México

Por otra parte, en el ámbito internacional México es considerado como un país con amplio potencial para el desarrollo de centrales eoloeléctricas, aunque cabe mencionar que en México ha existido muy poca recolección sistemática y ordenada de información del recurso eólico, por lo que la información se refiere a observaciones puntuales que solo dan una idea vaga del potencial eólico. A pesar de lo anterior documentos oficiales de planeación del sector eléctrico ya

¹⁶ La Jornada, *Con engaños y despojos, trasnacionales españolas operan la planta La Venta II*. 24 de abril de 2007.

reconocen que el aprovechamiento del principal recurso eólico técnicamente viable puede dar lugar a la instalación de 5,000 MW eoloeléctricos (SENER, 2005). La *Asociación Mexicana de Energía Eólica* (AMDEE) estima que actualmente el desarrollo viable de proyectos, para el período 2006-2014, es de por lo menos 3,000 MW (GWEC, 2008). El aprovechamiento de este recurso podría traer importantes beneficios al país; por ejemplo, se estima que la instalación de 2,000 MW en la zona del Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec, traería el establecimiento de proveedores de diversa índole en la región, con un importante volumen de negocios e inversión en infraestructura, y un número considerable de empleos directos generados por este desarrollo (Moreno, 2003).

Adicionalmente, en áreas rurales pueden atraer inversiones y empleos, siendo un motor de desarrollo regional y una opción de capitalización del sector rural, ya que las centrales eoloeléctricas pueden ser una fuente de ingresos para el mismo sin interrumpir o modificar sus actividades agropecuarias habituales. Un estudio realizado recientemente por los *Laboratorios Nacionales de Energía Renovable de los Estados Unidos* concluyó que con el emplazamiento de centrales eoloeléctricas en zonas rurales, fomenta las inversiones, y tienen un impacto económico más significativo de nuevos empleos, ganancias e impuestos, que el producido por inversiones en centrales eléctricas de combustible fósil.

Adicionalmente, algunas consideraciones de regiones con posible potencial eólico del país han sido desarrolladas y las cuales se presentan en la **Tabla 2.5**.

Tabla 2.5 Regiones con potencial Energético en la República Mexicana.

Región	Características
Istmo de Tehuantepec	Contiene un área del orden de 1,000 km ² con vientos intensos, dado un fenómeno de monzón entre el Golfo de México y el Golfo de Tehuantepec. Esta región, considerando la infraestructura eléctrica existente por si sola contiene un potencial estimado de los 2,000 a 3,000 MW.
Península de Baja California	Es una barrera natural perpendicular a los vientos provenientes del occidente del océano pacifico, y su orografía propicia para la formación de sitios con potencial eólico. Existen varias regiones identificadas con potencial eólico como son: la Rumorosa y el paso entre la Sierra de Juárez y la Sierra de San Pedro Mártir
Península de Yucatán	La península se encuentra expuesta a los vientos alisios de primavera y verano y a los nortes en el invierno. Las regiones identificadas son Cabo Catoche, la costa de Quintana Roo y el oriente de Cozumel.
Altiplano norte	Desde la región central de Zacatecas a la frontera con los Estados Unidos, el norte del país se ve influenciado por la corriente de chorro de octubre a marzo, intensa y persistente, que como viento del poniente al impactar la Sierra Madre Occidental da lugar a innumerables sitios con potencial explotable. En la parte norte del estado de Coahuila existen áreas sumamente ventosas,
Región Central	En la región central del altiplano, prevalecen los vientos alisios de verano, desde Tlaxcala a Guanajuato y que en Pachuca son más conocidos. Estos vientos complementan estacionalmente, a los del altiplano norte y los del sur del Istmo de Tehuantepec. La complejidad orográfica de esta región debe dar lugar a la existencia de innumerables pasos y mesetas donde el viento sea energéticamente aprovechable.
Las zonas litorales	El extenso litoral mexicano y sus islas, presentan también oportunidades de generación eólica, tomando en cuenta el desarrollo de los nuevos aerogeneradores de hasta 5 MW a nivel mundial.

Fuente: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (antes CONAE) con Información de Enrique Caldera.

Dentro del ámbito del proyecto **“Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México”**, al año 2006 se habían instalado 22 estaciones anemométricas en 12 estados del país y básicamente en las regiones donde se cuenta con expectativas de la existencia de recurso eólico. Lo anterior con objeto de evaluar en forma confiable el recurso eólico y lo cual servirá como referencia para el desarrollo de proyectos eoloeléctricos en México (**Figura 2.14**). La información anemométrica recolectada se encuentra disponible, previa autorización del IIE, en la página electrónica¹⁷ del Plan de Acción.

¹⁷ Se presenta la dirección electrónica completa en el Anexo G.



Figura 2.14 Torres anemométricas instaladas en la República Mexicana por parte de CFE y del IIE.
Fuente: Borja et al, 1998.

2.7.2 Atlas del Recurso Eólico de Oaxaca

Un importante paso para la determinación del recurso y potencial eólica del República Mexicana se dio en el año de 2003, cuando el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) y la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID) patrocinaron un proyecto con el objeto de promover el aprovechamiento del potencial eólico del Estado de Oaxaca, mismo que consistió en desarrollar un *Atlas del Recurso Eólico*¹⁸ del estado; en este documento se encuentran mapas detallados de la disponibilidad del viento para aprovechamiento energético a diferentes escalas.

El Laboratorio de Energía Renovable (NREL), perteneciente al Departamento de Energía de los Estados Unidos, fue el responsable de encabezar el proyecto donde participaron varias instituciones mexicanas como la Secretaría de Energía del Gobierno federal, la Secretaría de Desarrollo Industrial y Económico del Estado de Oaxaca, el Instituto de Investigaciones Eléctricas, a través de su Gerencia de Energías No-Convencionales, y la Comisión Federal de Electricidad. Esta actividad fue desarrollada a través de una amplia colaboración entre el Departamento de Energía de los Estados Unidos y la Secretaría de Energía de México para

¹⁸ Wind Energy Resource Atlas of Oaxaca, Departamento de Energía de los Estados Unidos. NREL/TP-500-34519, Boulder, Co. 2003.

alcanzar la meta entonces propuesta de instalar 1,000 MW de energía renovable para el año 2006; aunque esta meta no fue cumplida cabe mencionar que el Gobierno de Oaxaca tiene aun la meta de instalar 2,000 MW de energía renovable, principalmente eólica, para el año 2015.

Este documento es un ejemplo de la colaboración binacional Estados Unidos-México y es un elemento importante de la estrategia de México para generar información y herramientas disponibles para el desarrollo de proyectos de energías renovables y tener acceso al financiamiento y la asesoría técnica indispensables para llevar a cabo proyectos de forma exitosa. Adicionalmente, se tiene el objetivo, junto con otros aspectos energéticos, de asegurar que las comunidades del estado de Oaxaca reciban los beneficios sociales y económicos de la explotación del recurso eólico que existe en su tierra.

El documento se encuentra dividido en siete secciones que contienen aspectos de la geografía y del clima del estado, y obviamente datos de las estimaciones de las velocidades de viento y del potencial de generación de energía eléctrica del estado de Oaxaca. En dicho estudio se estimó que existe una superficie aproximada de 6,600 km² con un potencial de recurso eólico de bueno a excelente, y de 4,400 de los 6,600 km² de terreno con un excelente potencial de recurso eólico. Dicha superficie representa más del 7% del total de 91,500 km² del estado.

Por lo anterior asumiendo un valor conservador de 5 MW por km², la superficie estimada podría alojar más de 33,000 MW de capacidad eoloeléctrica. Sin embargo, el estudio recomienda llevar a cabo análisis adicionales para evaluar con precisión potencial de generación eoloeléctrico, en los que se deben considerar factores tales como la red de transmisión existente y la accesibilidad a los terrenos.

Considerando áreas adicionales con un potencial moderado de recurso eólico la superficie total estimada con potencial eólico 8,800 km², o casi 10% de la superficie terrestre total de Oaxaca, el potencial eólico del estado incluyendo estas pequeñas aplicaciones alcanza los 44,350 MW. La **Tabla 2.6** representa en forma detallada los principales resultados del estudio. La **Figura 2.15** presenta el mapa del recurso eólico del estado de Oaxaca, donde se puede observar que la gran mayoría del recurso eólico del estado se encuentra en la región del Istmo de Tehuantepec, el cual es una superficie ideal para el desarrollo de la energía eólica, pues es una región que se encuentra

entre el Golfo de México y de Tehuantepec prácticamente llana, con un ancho de 200 kilómetros en la parte más angosta.

Tabla 2.6 Recurso Eólico del Estado de Oaxaca a una altura de 50 metros.

Recurso Eólico	Clase	Densidad de Potencia del Viento W/m^2	Velocidad promedio m/s	Superficie Total en km^2	Terreno con recurso eólico (%)	Capacidad Instalada Total en MW
Moderado	3	300 – 400	6.1 – 6.7	2,234	2.4	11,150
Bueno	4	400 – 500	6.7 – 7.3	2,263	2.5	11,300
Excelente	5	500 – 600	7.3 – 7.7	1,370	1.5	6,850
Excelente	6	600 – 700	7.7 – 8.5	1,756	1.9	8,800
Excelente	7	> 800	> 8.5	1,248	1.4	6,250
			Totales	8,870	9.7	44,350

Fuente: Atlas del Recurso Eólico de Oaxaca, NREL 2003.

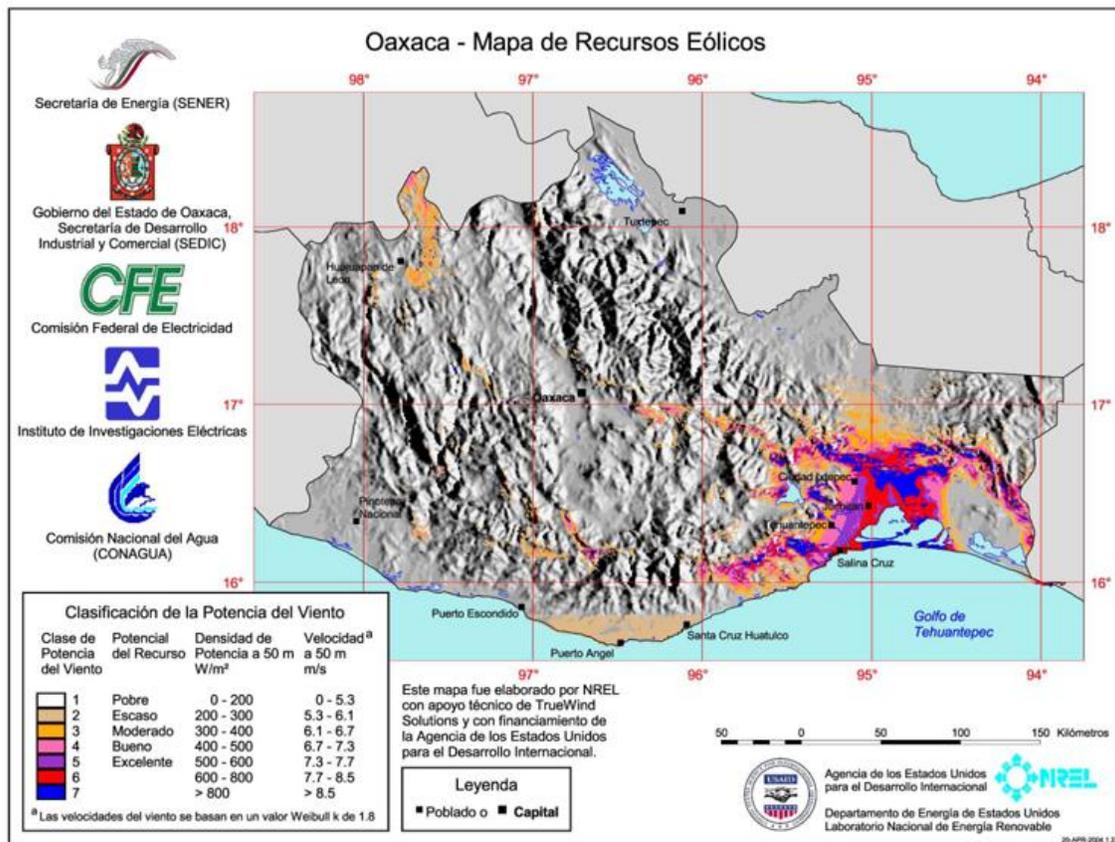


Figura 2.15 Mapa del recurso eólico del estado de Oaxaca elaborado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos.

Fuente: Atlas del Recurso Eólico de Oaxaca, NREL 2003.

2.8 Conclusiones Particulares del Capítulo 2

- *La energía eólica se ha colocado a la cabeza del aprovechamiento de las fuentes renovables, debido fundamentalmente a los adecuados programas de promoción e incentivos de la tecnología en diversos países.*
- *La energía eólica es un recurso abundante, benigno con el ambiente, y representa además un aspecto de seguridad de suministro energético para muchos países, además de ser un componente muy importante en la solución al desafío global que actualmente está enfrentando la humanidad.*
- *La investigación y desarrollo tecnológicos juegan un papel trascendental en el aprovechamiento del recurso eólico, pues éstos han permitido abatir el costo de generación nivelado con el consecuente incremento de su competitividad económica en el mercado energético mundial.*
- *El aprovechamiento de la energía eólica representa ventajas, básicamente ambientales, con respecto al uso de otras fuentes energéticas consideradas convencionales.*
- *El emplazamiento de proyectos eoloeléctricos representa una oportunidad para el desarrollo regional sostenible, a través de generación de empleos y las retribuciones económicas para las comunidades donde se emplazan los proyectos.*
- *México cuenta con un amplio recurso eólico susceptible de ser aprovechado; tan sólo en el estado de Oaxaca, los estudios realizados han arrojado valores potenciales de unos 44,350 MW; aunque cabe mencionar que en el resto del país ha existido poca recolección sistemática y ordenada de información del recurso eólico.*

Capítulo 3. Comprendiendo el Impacto Ambiental en Avifauna y Murciélagos

3.1 Introducción

A pesar de que la generación eoloelectrica es una opción preferible sobre las fuentes convencionales de energía, debido principalmente a sus bondades ambientales y ahora también económicas, ésta también presenta algunos impactos adversos sobre la vida silvestre, en particular la avifauna y los murciélagos. Este impacto ambiental de las centrales eoloelectricas puede ser en tres diferentes maneras: afectación del hábitat, el desplazamiento o pérdida del mismo y las fatalidades ocasionadas por la colisión con los aerogeneradores.

Asimismo, en los últimos años, han aparecido una serie de reportes y artículos en la prensa y algunos sitios de Internet¹ acerca de que los aerogeneradores son una amenaza para la avifauna y murciélagos y que su uso afectaría de gran manera sus poblaciones. Algunos autores incluso han llamado a las turbinas eolicas: “mata-rapaces” o las “batidoras del aire” (GIPE, 1995). Estos artículos se han utilizado como supuestas pruebas para detener el desarrollo de la energía eólica, pues crean la duda entre aquellos que desconocen más acerca del tema..

Por lo anterior, este tipo de impacto ambiental ha sido el tema de mayor controversia y lo que ha traído como consecuencia el desarrollo de estudios por diversas instituciones, sobretodo en Estados Unidos y la Unión Europea, para determinar el impacto y magnitud real de los aerogeneradores en las fatalidades aviares (Gipe, 1995).

Dichos estudios también han comparado el número de fatalidades ocasionadas por los aerogeneradores con aquellas ocasionadas por la colisión de las aves con otros objetos construidos por la mano del hombre, tales como automóviles, líneas de transmisión de electricidad, aeronaves, edificios, etc., demostrando la menor ocurrencia de hechos fatales en centrales eoloelectricas.

Así que tomando en cuenta lo anterior, en este capítulo se hace una descripción de las implicaciones ambientales del aprovechamiento de la energía eólica, tanto beneficios como los

¹ Tal como el sitio de Internet: <http://www.wind-watch.org/>, cabe mencionar que dicho sitio presenta únicamente información negativa de la energía eólica.

principales impactos. Posteriormente, con objeto de verificar la gravedad del problema, se pone en real perspectiva el impacto de las centrales eoloeléctricas sobre la avifauna y los murciélagos, haciendo uso de la literatura disponible al respecto; finalmente se hace una comparación de las fatalidades ocasionadas por otras actividades del ser humano, así como los impactos causados por la explotación de otras fuentes energéticas.

3.2 Objetivos particulares del Capítulo 3

- i. Analizar las bondades ambientales del aprovechamiento de la energía eólica y su poderosa contribución al combate del cambio climático global.*
- ii. Analizar y poner en real perspectiva el impacto ambiental de la energía eólica, sobre todo en lo relacionado a la avifauna y los murciélagos.*
- iii. Comparar los impactos ambientales de la energía eólica y otras fuentes energéticas convencionales sobre la avifauna y los murciélagos, demostrando el menor impacto ambiental del uso aprovechamiento de la energía eólica.*
- iv. Comparar las fatalidades de avifauna ocasionadas por diversas estructuras y actividades antropogénicas.*

3.3 Beneficios Ambientales de la Energía Eólica

La generación de electricidad a partir de energías renovables en general y en particular la energía eólica es una alternativa ecológicamente preferible sobre aquellas que hacen uso de combustibles fósiles y nucleares, ya que en términos generales tiene menores impactos ambientales que las fuentes convencionales de energía. Las principales ventajas ambientales de la energía eólica (Borja, *et al.*, 1998), como la principal fuente de energía renovable, respecto a otras fuentes convencionales de energía son:

- *No emisión de gases efecto invernadero, de gases contaminantes y de partículas contaminantes;*
- *No generación de residuos peligrosos;*
- *No requerimiento de agua para su operación;*
- *No riesgos catastróficos para la población civil y el medio ambiente en eventos de falla o accidente; y*
- *No requerimientos de grandes áreas de tierra para su emplazamiento comparada con opciones como la hidroelectricidad.*

En las siguientes secciones se profundizará en los beneficios ambientales de la energía eólica y se presenta un análisis de ciclo de vida de una turbina eólica, la cual demuestra su superioridad como instrumento para reducir los impactos ambientales asociados a la explotación, transporte y generación de energía mediante combustibles fósiles.

3.3.1 Análisis del Ciclo de Vida del Aprovechamiento de la Energía Eólica

La energía eólica es capaz de mitigar una gran cantidad de emisiones contaminantes. Sin embargo, podrían surgir cuestiones relacionadas a este hecho y cuestionar si no se requiere mayor cantidad de energía para la fabricación de turbinas eólicas o en las fases de construcción de las centrales eoloelectricas, que aquella que éstas generarán a lo largo de su vida útil. Los resultados encontrados a través de diversos estudios han puesto de manifiesto que aun tomando en cuenta las emisiones generadas en dichos procesos es posible considerar a la energía eólica como más benéfica para el medio ambiente que otras fuentes energéticas. Para demostrar este hecho se han llevado a cabo análisis del ciclo de vida del aprovechamiento de la energía eólica, tomando en cuenta desde la fase explotación de las materias primas requeridas en todo el proceso de fabricación y construcción de los diversos componentes

involucrados en las centrales eoloelectricas, hasta la disposición final de los materiales desechados en el proceso de desmantelamiento de las mismas.

Este tipo de análisis son muy útiles al momento de comparar las emisiones totales de diferentes fuentes energéticas y representan una manera más equitativa de comparar las emisiones totales de cada una de ellas. Adicionalmente, también sirven como un instrumento para identificar posibles mejoras al proceso de desarrollo tanto de los productos involucrados como de los proyectos (Mathew, 2007).

El análisis de ciclo de vida realizado por Mathew (2007), para el caso de una turbina eólica de 600 kW, consistió de un proceso de cinco pasos que demostraron la superioridad de la energía eólica respecto a las emisiones de CO₂. En la **Figura 3.1** se presentan los resultados encontrados en dicho análisis para diversas fuentes energéticas, tomando en cuenta 3 diferentes tipo de emisiones contaminantes: Dióxido de Carbono (CO₂), Dióxido de Azufre (SO₂) y Óxidos Nitrosos (NO_x).

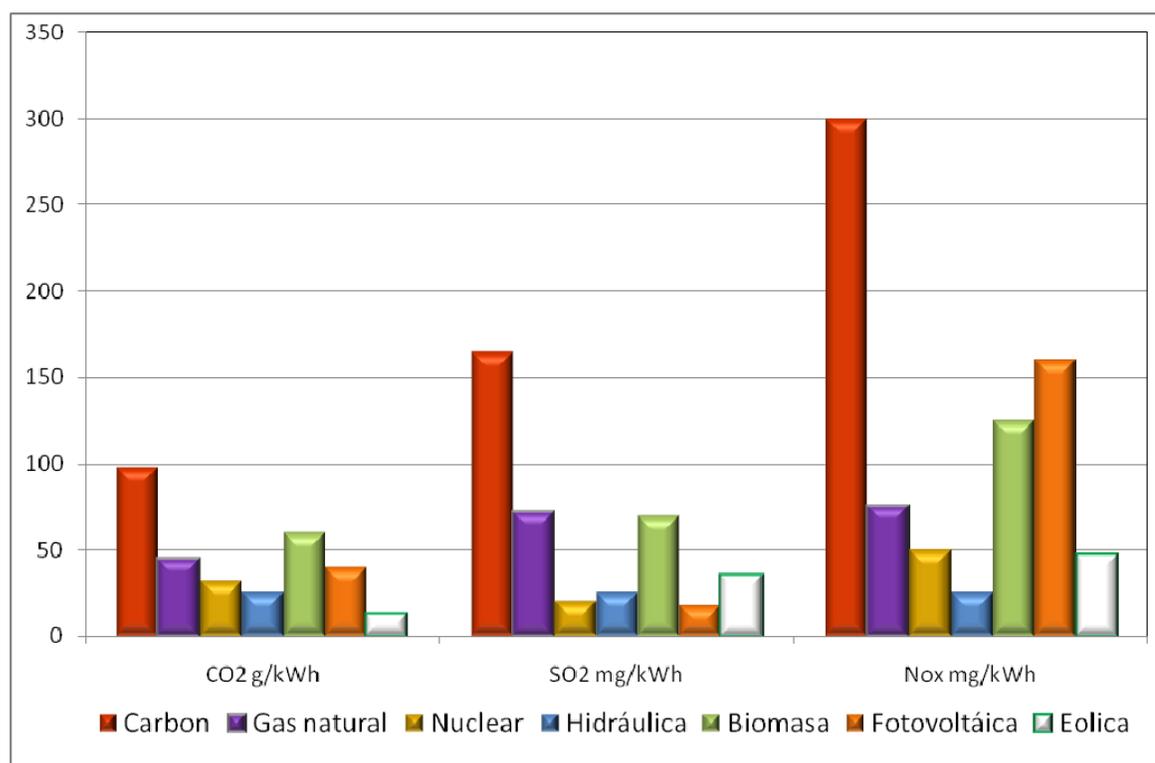


Figura 3.1 Comparativo de las emisiones de diferentes tecnologías energéticas.
Fuente: Elaborada a partir de datos obtenidos por Mathew (2007).

Así, en forma general se han evaluado las emisiones específicas de la energía eólica por cada kWh generado durante su ciclo de vida útil, dichos resultados son presentados en la **Tabla 3.1**.

Tabla 3.1 Emisiones específicas a lo largo de la vida útil de una turbina eólica de 600 kW.

Tipo de emisión contaminante	gm/kWh
<i>SO₂</i>	<i>0.03591</i>
<i>NO_x</i>	<i>0.04760</i>
<i>CO₂</i>	<i>13.22731</i>
<i>N₂O</i>	<i>0.00019</i>
<i>CH₄</i>	<i>0.00013</i>
<i>COVNM²</i>	<i>0.00042</i>
<i>CO</i>	<i>0.01053</i>

Fuente: Mathew (2007). P. 193

Como se puede observar, aun tomando en cuenta las emisiones de las turbinas eoloelectricas a lo largo de su vida útil, éstas resultan ser menores en términos generales, pues a pesar de que emite mayor cantidad de Dióxido de Azufre que otras 3 fuentes energéticas, y sólo un poco mas de Óxidos Nitrosos que la fotovoltaica, pero tomando en cuenta sus bajas emisiones de Dióxido de Carbono, el balance general de las éstas es favorable a la energía eólica, tal como lo corrobora el análisis presentado.

3.3.2 Importancia de la Energía Eólica en el Contexto del Cambio Climático Global

Al ritmo actual de incremento de demanda de combustibles fósiles, las emisiones de gases de efecto invernadero podrían crecer hasta un 60% para el año 2030, lo cual traería consigo, según los modelos desarrollados por diversos científicos alrededor del mundo, un incremento en la temperatura global del planeta de hasta 5 C. En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático realizada en la isla de Bali en Indonesia en 2007, se remarcó una vez más, la importancia de limitar dicho incremento a tan solo 2 C. Para alcanzar dicha marca, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático ha concluido que es necesario disminuir al menos dichas emisiones en un 50% respecto a las emisiones totales del año 2000 (Grupo de Trabajo III del IPCC, 2007).

Por lo anterior, se estima también que de no responder en forma rápida a dicho fenómeno global, las pérdidas económicas alcanzarían hasta el 20% del Producto Interno Bruto de todo el planeta. Adicionalmente, el costo actual de los combustibles fósiles no representa las externalidades implícitas en su consumo, al no reflejar los daños causados al ser humano, ni al medio ambiente. Se considera que el costo actual promedio de generación por medio de centrales carboeléctricas está entre los 8 y los 11 centavos de dólar por kWh, mientras que por ejemplo considerando que el costo promedio para centrales eólicas alcanza los 6.5 centavos de dólar por kWh (IRENA, 2009); entonces si dichas externalidades estuvieran consideradas en

² Componentes Orgánicos Volátiles - No Metano.

el costo final, la energía eólica sería mucho más competitiva en cuanto a costos y precios se refiere.

Así es que la energía eólica es considerada como una de las principales tecnologías que pueden ayudar a abatir los efectos del cambio climático global, ya que con ella no es necesario esperar una solución para revertir y estabilizar los efectos del cambio climático. La energía eólica es una de las pocas opciones a corto plazo disponibles para reducir las emisiones de CO₂, pues la energía eólica ofrece una opción para iniciar a estabilizar rápidamente los efectos del cambio climático y dar más tiempo para el desarrollo, madurez y comercialización de nuevas tecnologías limpias, las cuales aun no cuentan con viabilidad técnico-económica (AWEA, 2009).

De acuerdo al estudio “*20% de Energía Eólica para el 2030*” desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, se establece que la energía eólica puede ser utilizada ampliamente en todo al mundo para iniciar el abatimiento de las emisiones de gases de invernadero ahora mismo, pues la energía eólica cuenta con la madurez tecnológica para proteger al planeta. Se estima en dicho documento que tan sólo durante el 2007, los cerca de 17,000 MW de capacidad instalada de energía eólica en los Estados Unidos mitigó la emisión de aproximadamente 28×10^6 de toneladas de CO₂ (AWEA, 2008). Las estimaciones realizadas a largo plazo indican que suministrando 20% del consumo de energía eléctrica estimado en dicho país para el año 2030, se evitarían emisiones de CO₂ por 825×10^6 toneladas anuales, lo que acumulado al año 2050 resultaría en más de 15×10^9 Toneladas, lo que equivaldría a retirar de circulación 140 millones de automóviles (Departamento de Energía E.E.U.U., 2008).

3.3.3 Eficacia de la Energía Eólica en la Mitigación de CO₂

Como ejemplo de la eficacia de los aerogeneradores como un elemento importante para la reducción de emisiones de CO₂, el principal gas de efecto invernadero, se expone un ejemplo de una turbina eólica de 750 kW, un tamaño típico usado actualmente en centrales eolieléctricas alrededor del mundo. Se estima que esta turbina generará aproximadamente unos 2 GWh de electricidad anualmente³.

³ Tomando en cuenta un factor de planta de alrededor del 30%.

Si se considera un valor de $0.7 \text{ Kg/kWh de CO}_2$, el cual es corresponde al índice de emisión promedio para la generación eléctrica en México⁴, entonces significaría que dicha turbina evitaría cada año la emisión de:

$$2 \times 10^6 \text{ kWh} \times 0.70 \text{ kg CO}_2/\text{kWh} = 1,400 \text{ Ton de CO}_2$$

Por otra parte, de acuerdo a Wackemagel y Rees (1996) una superficie boscosa secuestra aproximadamente 7.41 toneladas de CO_2 por hectárea de superficie boscosa al año. Por lo tanto, tan sólo dicha turbina eólica de 750 kW evitaría la emisión de tanto Dióxido de Carbono, como lo que secuestra una superficie boscosa de alrededor de 92 hectáreas.

Así que tomando en cuenta los mismos criterios para la central eólica de la Venta en Oaxaca, que cuenta con alrededor de 85 MW instalados, se generarían aproximadamente 226 GWh anualmente, y por lo tanto se están evitando emisiones de bióxido de carbono por 159×10^3 toneladas, o lo mismo que podría ser absorbido por un bosque que cubre más de 20,700 hectáreas, equivalentes a aproximadamente el 1 % del territorio nacional.

Por otra parte con objeto de establecer un escenario de referencia de contaminantes evitados, consideraremos una vez más factor de planta anual ajustado medio de 30.14%, lo cual significa una generación bruta anual de 1,333 GWh por cada 500 MW de capacidad eoloeléctrica instalada iniciando al año 2011 y tomando como base 85 MW instalados actualmente en México. La mitigación resultante se muestra en la **Tabla 3.2**.

⁴ Fuente: Cálculo propio a partir de la información del Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990 - 2002 y del Balance Nacional de Energía 2007; tomando valores para el año 2002.

Tabla 3.2 Emisiones evitadas de CO₂ por año y acumulada por la instalación de 5,000 MW de capacidad de centrales eoloeléctricas.

Año	Capacidad final MW	Generación Eólica Anual (GWh)*	CO ₂ evitado Anual (M ton)	Generación Acumulada (TWh)	CO ₂ evitado Acumulado (M ton)
2010	85	227	158.7	0.2	158.7
2011	500	1,333	933.3	1.6	1,092.0
2012	1000	2,667	1,866.7	4.2	2,958.7
2013	1500	4,000	2,800.0	8.2	5,758.7
2014	2000	5,333	3,733.3	13.6	9,492.0
2015	2500	6,667	4,666.7	20.2	14,158.7
2016	3000	8,000	5,600.0	28.2	19,758.7
2017	3500	9,333	6,533.3	37.6	26,292.0
2018	4000	10,667	7,466.7	48.2	33,758.7
2019	4500	12,000	8,400.0	60.2	42,158.7
2020	5000	13,333	9,333.3	73.6	51,492.1

Fuente: Elaboración propia.

La instalación de 5,000 MW eoloeléctricos al año 2020, instalando a razón de 500 MW por año, implicaría para el inicio del año 2021 una generación anual de 13,300 GWh de origen eólico. Lo anterior también evitaría la emisión de otras clases de contaminantes, así como el ahorro de agua y combustible. La **Tabla 3.3** presenta algunos de estos beneficios.

Tabla 3.3 Beneficios ambientales por la instalación de 5,000 MW de capacidad de centrales eoloeléctricas.

Rubro		Unidades
Litros de agua ahorrados	264,816.33	m ³ x 10 ⁶
Combustible ahorrado	21,528.10	m ³ x 10 ⁶
CO ₂	51,492.06	Toneladas x 10 ⁶
SO ₂	934.21	Toneladas x 10 ⁶
NO _x	106.66	Toneladas x 10 ⁶
Partículas	94.16	Toneladas x 10 ⁶
BEPS ⁵	138,095.83	Toneladas x 10 ⁶

Fuente: Elaboración propia con índices de emisión y ahorro de la CONUEE (antes Conae), 2008

3.3.4 La Energía Eólica y los Mecanismos de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto

Una vez que se ha demostrado la eficacia de la energía eólica como un instrumento eficaz de abatimiento de las emisiones de CO₂, y por ende del cambio climático, los proyectos a partir de esta fuente renovable se han convertido en uno de lo más recurrentes dentro de los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDLs) del Protocolo de Kioto. A octubre de 2008, los MDLs habían contribuido a la instalación de 538 proyectos de energía eoloeléctrica alrededor

⁵ BEPS: Barriles Equivalentes de Petróleo.

del mundo, lo que representa el 14% de todos los proyectos que hacen uso de dichos mecanismos, totalizando una capacidad instalada de 20,434 MW⁶, y casi 7 millones de certificados de reducción de emisiones emitidos por este concepto, y se espera que este número se incrementará hasta una cifra de 213 millones de certificados para el 2012. La mayoría de estos proyectos se encuentran localizados en China y la India. Para el caso de China el 90% de los proyectos eoloeléctricos han solicitado su registro y hay 254 proyectos más que esperan solicitarla, alcanzando un total de más de 13 GW de capacidad. India tiene 231 proyectos, totalizando más de 4 GW de capacidad. La **Tabla 3.4** presenta el listado de países que actualmente se encuentran involucrados en dichos procesos.

Tabla 3.4 *Proyectos Eoloeléctricos a escala global desarrollados a través de MDLs.*

<i>País</i>	<i>Número de Proyectos</i>	<i>Capacidad (MW)</i>
India	231	4,319
China	254	13,072
México	11	1,222
Corea del Sur	11	320
Brasil	7	436
Chipre	3	188
República Dominicana	3	173
Egipto	2	200
Filipinas	2	73
Marruecos	2	70
Costa Rica	2	69
Nicaragua	2	60
Panamá	1	81
Mongolia	1	50
Jamaica	1	21
Colombia	1	20
Chile	1	19
Argentina	1	11
Vietnam	1	30
Ecuador	1	2
Total	538	20,434

Fuente: Global Wind Energy Council, Outlook, 2008 P. 54

Como se puede observar en la **Tabla 3.4**, México se encuentra en tercer lugar de la lista de países que han solicitado o de alguna forma han registrado los proyectos eoloeléctricos en los MDLs⁷. La **Tabla 3.5** presenta el listado de los proyectos eoloeléctricos, localizados todos en el estado de Oaxaca a excepción de un proyecto en localizado en Baja California. Los primeros 5 proyectos se encuentran ya registrados y los 3 restantes en fase de validación.

⁶ Esta capacidad representa alrededor del 20% de la capacidad eoloeléctrica instalada a escala mundial a finales de 2008.

⁷ Hay una diferencia de información entre las dos fuentes consultadas, aunque la fuente de la Tabla 3.4 indica que el listado está actualizado a Octubre de 2008.

Tabla 3.5 *Proyectos Eoloeléctricos desarrollados en México a través de MDLs.*

	<i>Proyecto</i>	<i>Reducción estimada de emisiones de CO₂ equivalente (Ton x10³ /año)</i>	<i>Capacidad (MW)</i>
1	<i>Bii Nee Stipa-La Ventosa</i>	310	200
2	<i>Bii Nee Stipa III: Parque eólico 164 MW-La Ventosa</i>	291	164
3	<i>Proyecto Eólico Eurus, CEMEX</i>	600	249
4	<i>La Venta II, CFE</i>	193	83.3
5	<i>La Ventosa Parques Ecológicos de México (PEM)</i>	224	102
6	<i>Parque eólica Baja California 2000, Baja California 2000, S.A. de C.V.</i>	17	10
7	<i>Parque eólico de Bii Stinu, Eoliatic del Istmo, S.A.P. de C.V.</i>	299	164
8	<i>Parque eólico de Santo Domingo, Eoliatic del Pacifico, S.A.P.I. de C.V.</i>	330	160
	Totales	2,264	1132.3

Fuente: SEMARNAT, 2008⁸.

Aunque el número de países que han participado en los MDLs para el financiamiento de proyectos eólicos es limitado, se ha demostrado su eficacia para el desarrollo de proyectos y como una condición necesaria para el desarrollo de la energía eólica a escala mundial, pues estos financiamientos disminuyen el diferencial de costos de generación entre la energía eólica y las fuentes fósiles convencionales. Por lo anterior, los MDLs se han convertido en un instrumento eficaz para incentivar proyectos eoloeléctricos alrededor del mundo, sin embargo también se requiere la participación de los gobiernos para la creación de los marcos legislativos y regulatorios, así como la implementación de políticas y medidas a nivel local o de país, con lo cual se complementan y se crean las condiciones necesarias para ampliar el desarrollo de proyectos eólicos.

3.4 Impactos Ambientales de la Energía Eólica

A pesar de todos los beneficios y las ventajas medioambientales de la energía eólica ya mencionados, y como cualquier otra forma de generación de electricidad o actividad desarrollada por el ser humano, la energía eólica no está exenta de ciertos impactos ambientales (Borja, et al., 1998) y que podemos señalar como más importantes los siguientes:

- *Afectación del uso del suelo;*
- *Modificación y Pérdida del Hábitat de Avifauna y Murciélagos*
- *Impacto visual;*
- *Ruido; y*

⁸ http://www.semarnat.gob.mx/queessearnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Documents/MDL/eolica.html.

- *Fatalidades de avifauna y murciélagos*

En las siguientes secciones se hace una breve descripción de cada uno de dichos impactos.

3.4.1 *La Afectación del Uso de Suelo*

El emplazamiento de centrales eoloeléctricas no representa el uso de grandes extensiones de tierra. La cantidad de suelo o superficie empleada depende del tipo de terreno, el número de caminos construidos, de la cantidad de turbinas instaladas, los edificios y otras estructuras requeridas. A pesar de lo anterior, las centrales eoloeléctricas hacen uso del suelo en una manera poco intensiva (**aproximadamente 0.06⁹ hectáreas/gigawatt-hora/año**). Actualmente cada turbina ocupa alrededor de 40 m², por lo que sumando el área utilizada por los aerogeneradores, la de los caminos de acceso y de algunos otros edificios solamente se ocupa alrededor del 5% de la superficie total de extensión de la central eoloeléctrica. En comparación, los requerimientos de terreno por MW de capacidad para plantas de: carbón, gas natural e hidroeléctricas se presentan en la **Tabla 3.6**.

Tabla 3.6 *Comparación de la superficie requerida para diversas centrales eléctricas.*

Tipo de central	Superficie requerida por MW instalado (m ²)
Eólica ^a	40
Carboeléctrica ^b	De 1,000 a 47,000
Gas natural o ciclo combinado ^b	2,600
Hidroeléctrica ^b	66,000

Fuentes: ^a American Wind Energy Association, ^b National Environmental Engineering Research Institute.

Lo anterior hace posible que las centrales eoloeléctricas sean compatibles con las actividades habituales que se desarrollan en el sitio donde se emplazan. Adicionalmente, al final de la vida útil de la central eoloeléctrica, el terreno puede volver a las características preexistentes con una relativa baja inversión; por lo que las centrales eoloeléctricas no suelen producir impactos significativos sobre el uso del suelo y sobre el hábitat a menos que estén situados en áreas de importancia arqueológica, de alta importancia conservacionista o que sean ecosistemas muy sensibles, por lo que su emplazamiento en dichos sitios no es recomendada, o en algunos casos hasta se encuentra prohibida (Gipe, 1995).

⁹ Aproximadamente unos 600 m².

3.4.2 *Modificación y Pérdida del Hábitat de Avifauna y Murciélagos*

Una posible afectación de las centrales eoloeléctricas hacia la avifauna y murciélagos es aquella ocasionada por la pérdida de su hábitat. A pesar de que los aerogeneradores estén emplazados cuidadosamente, por ejemplo, alejados de áreas turísticas, de zonas con alta densidad de población y de belleza escénica, las centrales eoloeléctricas tienden a ocasionar un impacto modesto sobre el ambiente local. La pérdida de hábitat y de vegetación disponible para la avifauna y murciélagos puede ocurrir como resultado de la presencia humana y de maquinaria durante el proceso de construcción de los caminos, edificios, cimentaciones y otros elementos de la infraestructura del sitio; además de la generación de ruido que perturba a la avifauna y la posible modificación de la hidrológica local (Langston y Pullan, 2004).

Aunque, por cuestiones técnicas para la instalación de una central eoloeléctrica, se busca seleccionar sitios con vegetación mínima, en ocasiones se requiere la tala de algunos árboles, para dejar vía libre a los caminos requeridos. El retiro selectivo de la vegetación del sitio, para mejorar la exposición al viento de los aerogeneradores, también puede dar lugar a una pérdida de hábitat forestal.

Cabe mencionar que para el emplazamiento de centrales eoloeléctricas se debe propiciar y fomentar el uso de zonas con actividades agrícolas y ganaderas, o en su caso aquellas eriales¹⁰, ya que en estos casos el hábitat de la avifauna y de los murciélagos ya ha sido modificado, ya sea por factores humanos o naturales. El impacto de la construcción de centrales eoloeléctricas en dichas áreas en el hábitat local sería mínimo. Además, deberán realizarse acciones para la protección del hábitat donde se construyan y operen las centrales eoloeléctricas, al finalizar la vida útil de la central eoloeléctrica y posible abandono del sitio, como son: respetar árboles, arbustos y herbáceas; así como prohibir el vertido de sustancias tóxicas o peligrosas de residuo tanto de la fase de construcción de la central como en su fase de operación; minimizar y optimizar la construcción de caminos, así como el llevar a cabo acciones de revegetación en el sitio (Langston y Pullan, 2004).

3.4.3 *El Impacto Visual*

Las turbinas eólicas son objetos altamente visibles en el paisaje, ya que por necesidades tecnológicas requieren estar en las alturas para operar óptimamente. Aunque en términos

¹⁰ De acuerdo al Diccionario de la Real Academia de la Lengua, la definición de Erial es la siguiente: Dicho de una tierra o de un campo: Sin cultivar ni labrar.

generales las centrales eólicas tienen menor impacto visual que las centrales eléctricas que usan combustibles fósiles (**Figura 3.2**); la mayoría de los países donde se está desarrollando proyectos de energía eólica han establecido reglas de construcción, para prohibir emplazamientos en reservas o sitios protegidos, parques nacionales o en sitios de gran belleza natural. (GWEC 2008)



Central Eoloeléctrica



Central Termoelectrica

Figura 3.2 Comparativo del impacto visual de centrales de generación de electricidad.

Este aspecto puede ser considerado como algo subjetivo, depende del punto de vista del observador, pues mientras para algunos los aerogeneradores son horribles intrusos, producto de la industrialización y por lo tanto agresivos al paisaje, para otros son símbolos de la responsabilidad y protección al medio ambiente, por lo que su apariencia resulta agradable (Gipe, 2004).

Sin embargo, los efectos estéticos que las turbinas puedan tener sobre el paisaje es un aspecto que no debe tomarse a la ligera, pues de esto dependerá en gran medida la percepción de la gente hacia la energía eólica, y por lo tanto a su aceptación, aunque también depende de la cercanía de la central eólica con los núcleos de población. Dentro de la percepción estética de los mismos influyen aspectos psicológicos y ambientales, pues si la energía eólica es una fuente de nuevos empleos y de bienestar, la población en general tenderá a aceptarlos. (Borja, et al., 1998).

Cabe mencionar un aspecto importante respecto a la aceptación de los aerogeneradores por parte de la población; se han llevado a cabo numerosos estudios en países europeos, los cuales han revelado que la gente que habita en parajes cercanos a ellos, están generalmente más a favor de ellos que aquellos habitantes de las ciudades, que los tienen por lo regular alejados, y

por lo tanto el aspecto de aceptación no debería ser de importancia (Asociación de Energía Eólica de Dinamarca, 2009).

En términos generales, se han establecido algunas directrices a seguir para minimizar los efectos visuales de las turbinas eólicas, entre los que destacan: mantener en buen estado las cubiertas de los cubos y de las góndolas, para mantener siempre ocultos los mecanismos en su interior; uniformizar el color y diseño de pintura, tanto de las góndolas, álabes y torres, así como usar tonos que sean similares a los del paisaje circundante para adaptarlos al mismo, claro siempre y cuando respetando las normas de seguridad vigentes en el área para estructuras altas; en la medida de lo posible distribuir los aerogeneradores en una forma armoniosa, equilibrada y simétrica para que el conjunto de turbinas en forma espacial resulten agradables a la vista del observador y no crear una sensación de caos y desorden, lo cual no es agradable para la percepción humana; asimismo, no debe saturarse los espacios disponibles para la instalación de la central; en algunos casos la altura total de las turbinas eólicas se encuentra limitada, dependiendo de su instalación en la costa o mar, en el interior o en las cercanías de aeropuertos, además de distancias mínimas a las zonas residenciales ya sean urbanas o rurales.

El tamaño de los aerogeneradores también juega un papel importante en el aspecto visual, pues mediante aerogeneradores de mayor capacidad y tamaño es posible generar la misma cantidad de energía con un menor número de ellos, lo que supone además de ventajas económicas, menores impactos visuales, debido a que por lo regular tienen una velocidad de rotación menor que las turbinas más pequeñas, por lo que las grandes turbinas llaman menos la atención del observador, que las turbinas pequeñas girando a velocidades mayores (Asociación de Energía Eólica de Dinamarca, 2009).

3.4.4 Problemas Relacionados al Ruido

El ruido generado por una turbina eólica llega ser relevante cuando se emplazan los aerogeneradores cerca de zonas habitacionales. Las fuentes de ruido en una turbina eólica pueden ser de tipo mecánico, producido por los mecanismos en el interior tales como las cajas de engranes, la flecha de acoplamiento, los mecanismos de orientación, etc., o puede ser de origen aerodinámico, generado por el aire circulando a través de los álabes del rotor. Sin embargo, el ruido generado por los aerogeneradores, cualquiera que sea su origen, es menor que aquel generado por otro tipo de centrales eléctricas, y aun así cuando están instaladas en zonas rurales el ruido es tan leve que es cubierto incluso por el mismo viento circundante en el

área; a una distancia de 350 metros los aerogeneradores generan un nivel de ruido de 45 dB, lo que es similar al que se tiene de fondo en una casa habitación (Borja, et al., 1998; Gipe, 2005).



Figura 3.3 Comparativo del ruido emitido por diversas fuentes sonoras y una turbina eólica a una distancia de 350 metros.

Fuente: AWEA, 2006.

A fin de cuentas, con objeto de evitar este impacto ambiental en las vecindades, algunos países, como Alemania, Holanda, Dinamarca, Inglaterra y los Estados Unidos han emitido también ciertas reglas relativas a las distancias a las que deben emplazarse las centrales, o los niveles máximos de ruido permisible. Por lo regular el rango máximo permisible de ruido es de entre 45 y 50 decibeles. En México la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994 establece los límites de emisión de ruido para una fuente fija, categoría que incluye, por supuesto, a las centrales eoloeléctricas. La Norma indica que de las 6:00 a las 22:00 horas el nivel máximo permisible es de 68 decibeles y de las 22:00 a las 6:00 horas el nivel máximo permisible es de 65 decibeles.

Existe también cierta preocupación relacionada al ruido de baja frecuencia de los aerogeneradores que podría suponer una amenaza para la salud humana, incluyendo síntomas como náuseas, dolores de cabeza y ansiedad. Para un ser humano saludable el rango de frecuencias audibles se encuentra desde los 20 Hz y hasta los 20,000 Hz, aunque el oído

humano es más sensible a frecuencias entre los 500 Hz y los 4000 Hz. Fuera de este rango la sensibilidad del oído humano varia. El ruido de baja frecuencia es el término utilizado para describir el sonido por debajo de los 200 Hz y el término infrasónico es utilizado para describir el sonido por debajo de los 20 Hz.

Los modernos aerogeneradores contienen un componente de ruido por debajo de este umbral de infrasonido, pero este aspecto se vuelve particularmente importante en los aerogeneradores con los alabes en el sotavento de la torre de tal forma manera que el viento pasa inicialmente a través de esta y posteriormente en los álabes, lo que genera un pulso infrasónico. Esto no ocurre con los aerogeneradores que tienen su rotor en el barlovento y el ruido generado no contiene componentes significativos de las pulsaciones de baja frecuencia o infrasónico (Asociación Británica de Energía Eólica, 2005).

3.5 Poniendo en Perspectiva las Fatalidades de Avifauna

La generación eoloeléctrica se empezó a practicar de manera comercial en los años ochenta y desde entonces los especialistas se percataron que la colisión de aves con aerogeneradores podría ser un efecto adverso ambiental que tendría que ser prevenido y mitigado. El proyecto eólico de Altamont Pass, localizado a unos 100 kilómetros al Este de San Francisco, California, fue uno de los primeros proyectos eólicos en los Estados Unidos. Este proyecto se caracterizó por contar con muchos aerogeneradores pequeños que fueron instalados muy cerca los unos de los otros, lo que hoy sólo es característico de proyectos construidos con tecnología ya obsoleta. El desarrollo eoloeléctrico en Altamont Pass fue propiciado por los amplios incentivos fiscales otorgados en el estado de California, lo cual condujo a un rápido desarrollo eoloeléctrico¹¹.

Como consecuencia de la precipitación en el desarrollo eoloeléctrico de Altamont Pass se descuidaron aspectos ambientales relativos al impacto sobre la avifauna lo que ocasionó que, por inicio, la percepción pública sobre dichos impactos fuera negativa. No obstante, el desarrollo eoloeléctrico en Altamont Pass, fue la plataforma mundial para el conocimiento profundo de la tecnología eoloeléctrica y el conocimiento práctico de sus posibles impactos ambientales. Por su parte, varios países de la Unión Europea utilizaron las centrales eoloeléctricas de Altamont Pass como un gran centro de pruebas de donde surgió una nueva

¹¹ Conocido en el ámbito internacional como “The California Wind Rush” o la “Premura Eólica de California”.

generación de aerogeneradores, los cuales fueron tecnológica y ambientalmente más maduros y que en años posteriores se convirtieron en la base del desarrollo eoloelectrico en la Unión Europea.

Aún hoy en día, Altamont Pass contiene la concentración más grande del mundo de aerogeneradores relativamente pequeños, pues existen alrededor de 5,000, dentro de un área cercana a los 150 km² (Thelander y Rugge, 2000). Asimismo, es muy importante tomar en cuenta que Altamont Pass tiene una topografía relativamente compleja, con colinas cuyo rango de elevación sobre el nivel medio del mar es de 230 a 470 metros; y que, además, en ese sitio se presenta niebla densa durante el verano y el invierno, pudiendo permanecer la niebla durante varios días consecutivos durante el invierno. (Smallwood y Thelander, 2005). Así es que en este sitio y bajo esas circunstancias, donde se inicia la preocupación por parte de algunos ecologistas y asociaciones de protectores de aves, debido al alto número de fatalidades ocurridas (AWEA, 2006).

Para Altamont Pass se han desarrollado un gran número de estudios con objeto de entender el porqué de las fatalidades aviares y cómo mitigarlas. Como consecuencia de estos estudios, se implementó un plan de mitigación de fatalidades aviares, mediante el retiro permanente o reubicación de cerca de 100 aerogeneradores que se encontraban en puntos conflictivos y que habían representado un alto riesgo para las aves (CEC, 2006). De acuerdo con Thelander y Rugge (2000), el mayor problema de esta central eoloelectrica fue la mala distribución y la errónea selección de puntos específicos para instalación de varios aerogeneradores.

La mayoría de los estudios desarrollados para estimar las colisiones de aves con aerogeneradores demuestran que éstos ocasionan un efecto despreciable de fatalidades sobre las colonias de aves residentes. Dichos estudios demuestran que las fatalidades de aves alcanzan un valor promedio de dos a cinco por año por aerogenerador y que en algunos de los sitios estudiados no se ha encontrado fatalidad alguna. Algunos de estos estudios han sido llevados a cabo en sitios cercanos a rutas migratorias por donde millones de aves transitan cada año (AWEA, 2006). No obstante, aún se teme que el impacto más significativo se pudiera encontrar sobre especies de aves migratorias; sin embargo, también se ha observado que éste puede ser mitigado con un buen emplazamiento de las centrales y una distribución adecuada de los aerogeneradores dentro del área de emplazamiento de una central eoloelectrica (Langston y Pullan, 2004).

La **Tabla 3.7** muestra las estimaciones de colisiones aviares encontradas en algunos sitios eólicos en los Estados Unidos, donde se puede observar la baja incidencia de estos eventos por cada una de las turbinas eólicas emplazadas (Erickson, et al., 2002).

Tabla 3.7 Número estimado de colisiones aviares en algunos sitios eoloeléctricos selectos de los Estados Unidos.

	Aerogeneradores al final del año 2001	Aerogeneradores durante el estudio	No. de fatalidades aviares/ aerogenerador/año	No. de fatalidades de aves rapaces/ aerogenerador/año
Fuera de California				
Buffalo Ridge, Minnesota	~ 450	~ 400	2.8	0.002
Foot Creek Rim, Wyoming	133	69	1.7	0.036
Green Mountain, Searsburg, Vermont	11	11	0.0	0.0
IDWGP, Algona, Iowa	3	3	0.0	0.0
Ponnequin, Colorado	44	29	No disponible	0.0
Somerset County, Pennsylvania	8	8	0.0	0.0
Vansycle/Stateline, Oregon y Washington	437	38	0.6	0.0
Wisconsin	31	31	No disponible	0.0
Subtotal	1,117	589	1.8	0.006
California				
Altamont Pass	~5,400	~7,340	No disponible	0.048
Montezuma Hills	600	600	No disponible	0.048
San Geronio	~2,900	2,900	2.307	0.010
Subtotal	8,900	10,840	2.3	0.035
Gran Total	10,017	11,429	2.19	0.033

Fuente: Tomada y adaptada del documento: Synthesis and Comparison of Baseline Avian and Bat Use, Raptor Nesting and Mortality Information from Proposed and Existing Wind Developments, 2002).

La **Tabla 3.8** muestra la composición porcentual, por tipos de ave, de fatalidades por colisión en centrales eoloeléctricas en los Estados Unidos, donde se puede observar que es en el desarrollo eoloeléctrico de Altamont Pass donde se ha registrado la mayor cantidad de fatalidades, por las razones ya comentadas, y que las experiencias adquiridas en dicho sitio

han sido de gran importancia para disminuir de forma significativa las colisiones aviares en otras centrales eoloeléctricas de construcción más reciente.

Por lo anterior, es evidente que lo ocurrido en Altamont Pass, y las condiciones aún persistentes en ese sitio, han enviado al público una señal adversa con respecto a la magnitud del posible impacto de los aerogeneradores sobre la avifauna. Cabe recalcar y como ya ha sido mencionado que este problema fue ocasionado por malas prácticas de ingeniería en la selección de sitios y de emplazamiento de las turbinas pues éstas constituían una barrera para el vuelo de la avifauna, tal como se puede observar en la **Figura 3.4**.



***Figura 3.4** Mal Emplazamiento de turbinas eólicas en el sitio Altamont Pass, California. Se puede observar la gran concentración y diversidad de turbinas eólicas.*

Fuente: Comité de Investigación de Impactos Ambientales de la Energía Eólica.

Tabla 3.8 Composición de las fatalidades (%) aviares por colisión observadas en centrales eoloeléctricas de los Estados Unidos.

	No. de Aerogeneradores	Aves acuáticas	Patos	Aves costeras	Rapaces diurnas	Búhos	Gallinetas	Figurines protegidos	Otras	Aves no protegidas	No. de cadáveres
<i>California</i>											
Altamont	7,340 ^a	1.6	1.1	0.0	47.6	11.3	0.0	18.6	2.0	17.8	613
Montezuma Hills	600 ^b	0.0	4.8	0.0	61.9	7.1	0.0	11.9	7.1	7.1	42
San Gorgonio	2,900 ^b	4.8	21.4	2.4	4.8	11.9	0.0	9.5	16.7	28.6	42
Tehachapi Pass	640-760 ^b	0.0	0.0	0.0	20.1	3.5	11.1	31.9	22.2	11.1	144
Subtotal		1.2	2.2	0.1	39.1	11.5	0.7	18.9	10.8	15.5	841
<i>Fuera de California</i>											
Buffalo Ridge, Minnesota	400 ^b	5.5	9.1	1.8	1.8	0.0	5.5	72.7	0.0	3.6	55
Foot Creek Rim, Wyoming	69 ^b	1.1	0.0	0.0	4.2	1.1	0.0	90.5	3.2	0.0	95
Ponnequin, Colorado	29 ^b	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	88.9	0.0	0.0	9
Vansycle, Oregon	38 ^b	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	66.7	8.3	0.0	12
Wisconsin	31 ^b	4.8	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	66.7	4.8	14.3	21
Subtotal		3.3	5.3	0.7	2.7	0.5	4.0	78.0	2.7	3.3	192
Gran total		1.6	2.5	0.2	34.3	9.1	1.1	31.5	5.7	14.0	1033

Fuente: Tomada y adaptada del documento: "Avian Collisions with Wind Turbines: A Summary of Existing Studies and Comparisons of Avian Collision Mortality in the United States", 2001.

Referencias del número de aerogeneradores: ^a (Thelander y Rugge, 2000), ^b (Erickson, et al., 2002)

3.6 Poniendo en Perspectiva las Fatalidades de Murciélagos

Un tema relativamente nuevo que ha llamado la atención de asociaciones ecologistas y de la misma industria eólica es el de fatalidades de murciélagos en centrales eoloelectricas. Las probables razones para este efecto adverso, que empezó a verificarse durante el año 2003, están siendo estudiadas por una sociedad formada por: la Asociación de Energía Eólica de los Estados Unidos; la Organización Internacional para la Conservación de Murciélagos; el Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos, y los Laboratorios Nacionales de Energía Renovable. Mediante dichos estudios se espera encontrar tanto las razones como los medios de mitigar las fatalidades de murciélagos en centrales eoloelectricas.

A pesar de los estudios realizados hasta la fecha, la causa de colisión de los murciélagos con los aerogeneradores o inclusive con otras estructuras artificiales no está aún bien comprendida (Cryan, 2003). Los estudios con murciélagos en cautiverio han demostrado que pueden evitar colisiones con objetos móviles con más éxito que con objetos inmóviles, probablemente porque sus hábitos del forrajeo los programan para detectar objetos en movimiento (Jen y McCarty, 1978). En Europa se han observado murciélagos forrajeando a tan sólo un metro de distancia de los aerogeneradores en funcionamiento, y aun así, en algunos casos no se ha documentado ninguna fatalidad (Bach et al., 1999). Por otra parte, se ha especulado que el ruido generado por los aerogeneradores podría atraer o afectar la capacidad de ecolocación de los murciélagos; sin embargo, las evidencias disponibles indican que los murciélagos no pueden detectar a los aerogeneradores en movimiento, pero tampoco son atraídos a hacia ellos (Geggie y Fenton, 1985; Johnson et al., 2003b; Nicholson, 2003; Fiedler, 2004).

Otros estudios se han centrado en la importancia de mitigar las posibles fatalidades de los murciélagos, puesto que ocupan el mismo lugar ecológico que la avifauna (Graham, 1994). Durante el día, mientras que en su gran mayoría las aves forrajean insectos, frutos y semillas, los murciélagos están dormidos. Pero en forma inversa, durante la noche, cuando las aves se encuentran dormidas, (aunque también existen algunas especies aviares de hábitos nocturnos, como es el caso de algunos búhos) los murciélagos se

alimentan en forma similar a las aves, y al igual que estas, algunas especies de murciélagos también se encuentran dentro de cierta categoría de protección. La mortalidad por colisión de los murciélagos en centrales eoloeléctricas ha sido documentada en varios países, incluyendo Canadá, Suecia, Alemania y España. En Estados Unidos, se han encontrado fatalidades de murciélagos en 11 estados diferentes. De 46 especies de murciélagos en los Estados Unidos, tan solo 11 especies han sido encontradas en fatalidades ocurridas en centrales eoloeléctricas, a pesar que se éstas se encuentran en diversas regiones y tipos de hábitat. La mayoría (83.1%) de fatalidades documentadas se registró en murciélagos migratorios (Johnson y Strickland, 2003). La **Tabla 3.9** muestra una estimación de las colisiones de murciélagos con aerogeneradores en los Estados Unidos.

Tabla 3.9 Número estimado de colisiones de murciélagos en sitios eólicos selectos de los Estados Unidos

	Periodo de estudio	Fatalidad media anual	Fatalidad de murciélagos por aerogenerador
Buffalo Ridge, Minnesota (Fase 1)	1999	5 ^a	0.07 ^a
Buffalo Ridge, Minnesota (Fase 2)	1998-2001	289 ^a	2.02 ^a
Buffalo Ridge, Minnesota (Fase 3)	1999-2001	319 ^a	2.32 ^a
Wisconsin	1999	34 ^b	1.10 ^b
Foote Creek Rim, Wyoming	1998- 2001	138 ^a	1.04 ^a
Buffalo Mtn., Tennessee	2001	30 ^b	10.0 ^b
Vansycle, Oregon	1999	28 ^a	0.74 ^a

Fuente: Tomada y adaptada del documento "Synthesis and Comparison of Baseline Avian and Bat Use, Raptor Nesting and Mortality Information from Proposed and Existing Wind Developments", 2002)

Notas: ^a Ajustado por eficiencia de búsqueda, ^b No ajustado por eficiencia de búsqueda

De los estudios realizados hasta la fecha en los Estados Unidos relacionados con murciélagos y las centrales eoloeléctricas se ha determinado que en su gran mayoría han sido murciélagos participando en algún tipo de migración¹², destacando que se han visto involucradas alrededor de siete especies distintas de estos mamíferos, ninguna en algún

¹² Es posible que durante la migración, los murciélagos desactiven su sistema de ecolocación, causando choques con estructuras antropógenas.

estado de protección, sino por el contrario se trata de especies ampliamente esparcidas por el mundo, y en general se puede decir que la incidencia de fatalidades de murciélagos relacionadas con la energía eólica es muy baja, aunque en algunas centrales en los Estados de Minnesota y Wyoming, el número ha sido un poco más elevado, pero sin que esto afecte de alguna manera la población total de murciélagos. (Curry y Kerlinger, 2008). En la **Tabla 3.10**, se resumen en porcentaje las especies identificadas de murciélagos en centrales eoloeléctricas, de un total De 1,447 colisiones documentadas en los Estados Unidos.

Tabla 3.10 *Porcentaje de fatalidades por especie de murciélagos documentadas en los Estados Unidos*

Especies de Murciélagos	Porcentaje (%)
Murciélagos canosos (<i>Lasiurus cinereus</i>)	45.5
Murciélagos rojos (<i>Lasiurus borealis</i>)	26.2
Murciélagos plateados (<i>Lasionycteris noctivagans</i>)	11.3
Murciélagos pipistrello (<i>Pipistrellus subflavus</i>)	8.5
Murciélago marrón pequeño (<i>Myotis lucifugus</i>)	5.9
Murciélago marrón grande (<i>Eptesicus fuscus</i>)	1.9
Otros	0.7

Fuente: (Johnson, 2004; Johnson, 2005).

No obstante, también es importante tomar en cuenta la enorme cantidad de murciélagos que migran, cantidad que puede alcanzar millones¹³, y las cantidades que afectadas por causa de otras actividades humanas, básicamente en explotación de minas que provoca la pérdida de su hábitat (Sagrillo, 2006). Asimismo, también existen circunstancias naturales que causan grandes fatalidades de murciélagos, como el caso ocurrido en abril del 2005, en el parque nacional de las Cavernas de Carlsbad, en Nuevo México, donde 106 murciélagos fueron arrojados contra las paredes y el suelo de la entrada principal a la cueva; al parecer por las fuertes ráfagas y el imprevisible comportamiento del viento en la entrada y en los acantilados de la cueva (Carlsbad Caverns National Park, Comunicado de Prensa 2005). Algunos estudios demostraron, también que los murciélagos colisionan

¹³ *En la literatura revisada aún no se ha estimado con precisión esta cifra.*

con otras estructuras artificiales altas, incluyendo faros de señalización (Saunders, 1930), torres de comunicación (Zinn y Baker, 1979; Crawford y Baker, 1981), edificios altos (Terres, 1956; Tuttle, 2004) y tendidos de líneas eléctricas (Dedon et al., 1989).

A pesar del número relativamente extenso de estudios llevados a cabo hasta la fecha que se encuentran relacionados con las interacciones de los murciélagos y los aerogeneradores, todavía hay mucho que aprender y estudiar para decir con veracidad el impacto real que éstos causan en dichas especies. De cualquier forma, es importante desarrollar métodos para prevenir y mitigar su colisión con los aerogeneradores. Estas soluciones requerirán datos adicionales sobre el comportamiento de los murciélagos cerca de los aerogeneradores, cantidad de murciélagos que migran, así como información sobre los efectos reales a través del tiempo.

3.6.1 Barotrauma en Murciélagos

Durante el último par de años ha sido detectado un nuevo tipo de problema relacionado a las fatalidades de murciélagos. Alrededor del 90% de las fatalidades de murciélagos examinadas mostraron signos de hemorragia interna en sus pulmones. Lo anterior es causado por una condición conocida **barotrauma**¹⁴. Este problema es causado por la propia aerodinámica de los álabes de los aerogeneradores, que causan una repentina caída de presión de aire (Science Daily, 2009).

Dicha caída de presión en las cercanías de los álabes es prácticamente indetectable y potencialmente muy peligrosa para los murciélagos, lo que explica en parte las fatalidades de murciélagos. Cabe mencionar que el sistema respiratorio de los murciélagos y la avifauna difieren en aspectos importantes, principalmente en términos de su estructura y su función. Los pulmones de los murciélagos, como la mayoría de los mamíferos, son similares a globos, con una vía de flujo de aire que se ramifica en alveolos los cuales son delgados y flexibles, rodeados por sacos de capilares. La caída de presión ocasiona que dichos sacos de capilares se expandan demasiado, ocasionando la ruptura de los capilares que les rodea. Por otra parte, los pulmones de las aves son más

¹⁴ Este fenómeno es también observado en las actividades de buceo, cuando no se llevan a cabo las acciones de descompresión adecuadas durante la emersión.

rígidos y semejantes a un tubo, por donde circula el aire y entra en contacto con los capilares, lo que lo hace más resistente al súbito descenso de la presión del aire.

Aunque el fenómeno de barotrauma en murciélagos, aun está siendo estudiado y analizado a mayor profundidad, para comprenderlo mejor y encontrar la mejor solución, ya se han propuesto algunas de ellas para su mitigación; una posible solución ha sido detener totalmente el funcionamiento de los aerogeneradores durante periodos de bajas velocidades de viento, que es cuando se supone que los murciélagos presentan mayor actividad cercana a los aerogeneradores, debido a que es cuando los insectos, principal alimento de los murciélagos, pueden volar sin ser arrastrados por el viento, lo cual evidentemente ocurre durante la noche, por los hábitos nocturnos de los murciélagos. Al momento de la realización del este trabajo se encontraba por publicarse los resultados de un estudio realizado en dos centrales eoloeléctricas de los Estados Unidos, relacionado a este problema (Washington Times, 2009).

3.7 Comparación del Posible Impacto Ambiental de la Generación Eoloeléctrica sobre la Avifauna y Murciélagos con otros Factores Antropogénicos

3.7.1 Fatalidades Aviares por Colisión con Estructuras Antropogénicas

La industria de la generación eoloeléctrica es tal vez la que ha conducido la mayor cantidad de estudios relacionados con las fatalidades de aves ocasionadas por actividades humanas. Los modernos aerogeneradores son, por mucho, menos peligrosos para la avifauna que las grandes torres de comunicación, los altos edificios, los aeroplanos, los vehículos y otros numerosos objetos construidos por el ser humano. Los estudios llevados a cabo han demostrado que las fatalidades aviares ocasionadas por desarrollos eólicos son tan sólo una fracción de aquellas causadas por otras actividades humanas (AWEA, 2008).

Estimaciones conservadoras indican que: ***de cada diez mil (10,000) fatalidades relacionadas con actividades humanas en los Estados Unidos, tan sólo una es causada por las centrales eoloeléctricas*** (AWEA, 2008). La **Tabla 3.11** presenta un resumen de las fatalidades ocasionadas por actividades y estructuras antropogénicas, en los Estados Unidos. Una extrapolación de estas cifras indica que si toda la energía consumida en los

Estados Unidos fuera generada con viento, con el índice actual de fatalidades aviarias, las centrales eólicas serían responsables de únicamente de 250 de cada 10,000 de éstas, lo cual representaría tan sólo el 2.5% del número total de fatalidades aviarias ocasionada por construcciones antropogénicas.

Tabla 3.11 *Fatalidades aviarias por actividades y estructuras antropogénicas en Estados Unidos*

<i>Actividad</i>	<i>Fatalidades por año</i>
<i>Vidrios de ventanas y edificios^a</i>	<i>De 100 a 900 millones</i>
<i>Gatos domésticos^a</i>	<i>100 millones</i>
<i>Cazadores^a</i>	<i>100 millones</i>
<i>Vehículos^a</i>	<i>De 50 a 100 millones</i>
<i>Torres de comunicación^a</i>	<i>De 4 a 10 millones</i>
<i>Pesticidas^a</i>	<i>67 millones</i>
<i>Extracción de petróleo y gas^a</i>	<i>De 1 a 2 millones</i>
<i>Líneas de transmisión (incluyendo colisión y electrocución)^a</i>	<i>174 millones</i>
<i>Centrales eoloeléctricas^b</i>	<i>De 10,000 a 40,000</i>

Fuentes: ^a Curry y Kerlinger, 2008; ^b Erickson, et al., 2001.

Los números de la **Tabla 3.11** muestran la gran cantidad de fatalidades ocasionadas por actividades del ser humano y de ahí, se puede ver que los vidrios de ventanas y los edificios son los mayores responsables de fatalidades aviarias (Curry y Kerlinger, 2006). Aun así, no debe considerarse que las centrales eoloeléctricas por causar un número menor de fatalidades no pueden llegar a causar efectos adversos de impacto ambiental que se deben prevenir y mitigar aplicando las mejores prácticas de planeación, diseño, construcción y operación de instalaciones eoloeléctricas.

3.7.2 Impacto de Otras Fuentes de Energía en la Avifauna

Cualquier actividad relacionada con el aprovechamiento de fuentes energéticas causa un daño al ambiente, del cual la avifauna no está exenta de sufrir impacto alguno. Por ejemplo, en 1989 un solo accidente de derramamiento del buque petrolero Exxon Valdez, en las costas de Alaska causó la muerte de alrededor de 500,000 aves migratorias, incluyendo águilas calvas o de cabeza blanca¹⁵, lo que representa 1,000 veces el total anual estimado de fatalidades en las centrales eoloeléctricas de California (AWEA, 2006). Dicho derrame afectó un radio de más de 2,000 kilómetros y el costo de limpiarlo fue de 2.1 billones de dólares. Adicionalmente la exploración y producción de petróleo en zonas costeras representan riesgos en algunas áreas donde se concentran una gran cantidad de aves, pues las instalaciones propias de estas actividades y el transporte de productos, incrementan el riesgo de derrames de combustible pueden causar fatalidades y daños a las aves (State of the Birds, 2009).

Asimismo, la explotación de arenas bituminosas para la extracción de petróleo, dentro de sus procesos tiene la eliminación de los residuos en grandes estanques de consistencia viscosa, los cuales en ocasiones son confundidos con lagos por aves migratorias, quienes pretenden utilizarlos como áreas de descanso. En un solo incidente de esta índole, se reportó la muerte de 500 patos migratorios en la provincia de Alberta, Canadá (National Geographic, 2009). Asimismo, las actividades de exploración y prospección de proyectos energéticos tienen importantes impactos en el hábitat de la avifauna; este sufre una degradación y fragmentación lo que ofrece condiciones favorables para el crecimiento de vegetación invasora (State of the Birds, 2009).

Otro aspecto a considerar es la emisión de Bióxido de Azufre (SO₂) y los Óxidos de Nitrógeno (NO_x) por centrales eléctricas que hacen uso de combustibles fósiles, y que está afectando los ecosistemas del mundo entero; causando daños tales como contaminación atmosférica, lluvia ácida, y aunque son difíciles de cuantificar su efecto es latente, afectando cuerpos de agua y superficies boscosas y amenazando muchas especies de aves y murciélagos. Estos contaminantes acidifican la lluvia, la nieve, y la niebla, lo cual ataca y disminuye el contenido de calcio del cascarón de los huevos de las aves,

¹⁵ Esta ave es símbolo de los Estados Unidos.

trayendo como consecuencia que se debilite, incrementando así el riesgo de muerte durante el proceso de anidación (AWEA, 2006). Desgraciadamente, estos impactos se observan a escala global, debido a que dichos contaminantes son transportados por el aire a miles de kilómetros de donde son generados.

Otras actividades relacionadas con el sector energético también causan efectos en la pérdida de hábitat. Se estima que tan sólo en los Estados Unidos cerca de 53,000 hectáreas son afectadas cada año por actividades de extracción del carbón usado para la producción de energía eléctrica. Además, las cuencas de los ríos son contaminadas por las actividades mineras, aun durante muchos años después de que las minas son cerradas, dañando su ecosistema y poniendo en grave peligro a las aves acuáticas que ahí habitan (AWEA, 2006).

3.7.3 Efectos del Cambio Climático Global en la Avifauna

Durante los años noventa el cambio climático apareció como una de las grandes amenazas potenciales al ambiente de la totalidad del planeta y por ende la diversidad biológica no podía ser la excepción. Actualmente, se atribuye a los procesos de generación de electricidad que utilizan combustibles fósiles ser los principales responsables del cambio climático global en virtud de las grandes cantidades de CO₂ que emiten a la atmósfera. Por esta razón, en el ámbito internacional se han establecido compromisos para la diversificación energética (i.e., Protocolo de Kioto), considerando el mayor uso de fuentes alternas de energía que pueden mitigar el cambio climático como es la eólica.

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas concluyó que el cambio climático podría tener consecuencias adversas serias sobre los ecosistemas y sobre los bienes y servicios que estos proveen. Algunos ecosistemas podrían desaparecer mientras que otros podrían experimentar cambios profundos en la dispersión y número de sus especies. La desertificación podría aumentar en algunas zonas y algunas especies podrían hacerse también más vulnerables a la extinción. Un estudio desarrollado por el World Wild Fund (WWF) ha determinado que el calentamiento global del ártico ya está

poniendo en peligro las vidas de las aves en las regiones polares, lo cual afectaría la cadena alimenticia y ciclo vital de dichas regiones.

Una estimación, considerando un modelo con una doble concentración de CO₂ en la atmósfera local de 34 puntos vulnerables del planeta ha determinado que el potencial de pérdida de especies endémicas, tan sólo en estos sitios, es de 56,000 especies vegetales y 3,700 especies de vertebrados terrestres. Esta estimación se encuentra basada en un escenario no tan lejano de únicamente 100 años. Cabe mencionar que estos puntos vulnerables sólo abarcan el 1% de la superficie terrestre, aunque en ellos habitan el 44% de especies vertebradas terrestres y 35% de especies vegetales del mundo (Malcolm et. al., 2006).

La pérdida de especies no significa solamente la desaparición de una de ellas, también pueden manifestarse drásticas consecuencias para las otras especies con las que interactúa en los ecosistemas; por ejemplo, las aves migratorias (tanto acuáticas como no acuáticas), y como es sabido la existencia de algunas especies está ligada a la supervivencia de otras dentro de los delicados ecosistemas y cadenas alimenticias que existen en la naturaleza.

Se sabe que ciertas especies cumplen una función más significativa que otras; a ellas se las ha denominado especies clave pues la pérdida de cualquiera de ellas tiene un efecto particularmente más devastador. El número de funciones esenciales que proveen los ecosistemas naturales, de los cuales diversas especies son componentes clave, no recibe la importancia que ellos tienen. Las funciones que proveen los ecosistemas incluyen, entre otras, la regulación de la composición gaseosa de la atmósfera, absorbiendo o fijando gases que están siendo liberados en altas tasas a la atmósfera por los procesos industriales, como es el caso del CO₂. Así, el proceso de cambio climático por emisión antropógena de CO₂ a la atmósfera puede crear un círculo vicioso y como consecuencia, incrementarse con mayor rapidez, en la medida en que el mismo cambio climático vaya reduciendo la capacidad de los ecosistemas para absorber las emisiones tanto antropógenicas como las naturales.

Adicionalmente, el cambio de temperatura está ocasionando que la avifauna inicie su proceso de anidación en una época más temprana del año, así como también sus procesos

migratorios, y en algunos casos la están deteniendo porque sus sitios originales son aptos para su supervivencia a lo largo de todo el año. Esta avifauna consume una amplia variedad de insectos, provocando la disminución de sus poblaciones; otras se alimentan de frutos, con lo que contribuyen a la dispersión de semillas de árboles y arbustos. Los consumidores de néctar y polen dispersan este último a otras plantas. Las aves playeras fertilizan con su guano las playas y lodazales donde se alimentan, lo cual está haciendo afectado por este hecho.

Por lo anterior, y tomando en cuenta la capacidad de la energía eólica como una herramienta eficaz para la mitigación de emisiones de gases efecto invernadero y el consecuente cambio climático, se puede considerar que la implementación de proyectos eoloelectrónicos, es también un elemento a considerar para proteger los hábitats de diversas especies, lo cual no únicamente repercute localmente, sino que tiene un impacto positivo a escala global, pues como ya ha sido presentado, los efectos de los diversos gases contaminantes tiene consecuencias aun a miles de kilómetros de donde tienen su fuente de emisión.

3.8 Conclusiones Particulares del Capítulo 3

- El aprovechamiento de la energía eólica representa menores impactos ambientales en lo general para el ambiente. Asimismo, el análisis del ciclo de vida de un aerogenerador, así demuestra que la energía eólica presenta menores emisiones y residuos contaminantes que otras fuentes, incluso renovables, de energía.
- La energía eólica ha demostrado su eficacia como elemento fundamental en el abatimiento del cambio climático global; así lo demuestra el hecho que un solo aerogenerador de 750 kW anualmente es capaz de reducir las emisiones de CO₂, en una cantidad similar a la que secuestraría un área boscosa de 92 Ha.
- A pesar de sus ventajas ambientales y como cualquier otra actividad del ser humano, el aprovechamiento de la energía eólica no se encuentra exenta de presentar algunos impactos ambientales, como lo son: ruido, sombreado, pérdida de hábitat, impacto visual y aquel relacionado a las colisiones de avifauna y murciélagos.
- La percepción pública negativa de la energía eólica como una amenaza contra la vida silvestre fue causada por malas prácticas de ingeniería y un descuido de los aspectos ambientales, y no porque los aerogeneradores por sí solos representen una amenaza para la avifauna y murciélagos.
- La mayoría de los estudios desarrollados para estimar las colisiones de aves con aerogeneradores demuestran que éstos ocasionan un efecto despreciable de fatalidades sobre las colonias de aves residentes. Dichos estudios demuestran que las fatalidades de aves alcanzan un valor promedio de dos a cinco por año por aerogenerador y que en algunos de los sitios estudiados no se ha encontrado fatalidad alguna. Algunos de estos estudios han sido llevados a cabo en sitios cercanos a rutas migratorias por donde millones de aves transitan cada año.

- Las estimaciones realizadas relacionadas a las fatalidades de avifauna indican que de cada diez mil fatalidades en los Estados Unidos atribuibles a factores antropogénicos, sólo *UNA* es causada por las centrales eoloeléctricas.
- En el caso de las colisiones de murciélagos, se ha determinado que en la gran mayoría de los casos encontrados, se ha tratado de especies de hábitos migratorios, lo cual puede ser ocasionado a que durante este proceso no hacen uso de su sistema de ecolocación.
- La literatura revisada y analizada muestra que el impacto ambiental del aprovechamiento de la energía eólica, en general, y en particular en la avifauna y murciélagos es mucho menor que aquel ocasionado por el uso de otras fuentes energéticas y que el cambio climático global en si implica una amenaza mucho más seria para la fauna en general.

Capítulo 4.

Soluciones y Medidas para la Mitigación del Impacto Ambiental en Avifauna y Murciélagos

4.1 Introducción

El estudio y análisis de las interacciones entre la vida silvestre y los grandes aerogeneradores se ha convertido en un tema trascendente para el desarrollo de la energía eólica a escala mundial. Las fatalidades de avifauna y murciélagos es una de las preocupaciones y retos a resolver para que la energía eólica sea considerada aun más amigable con el medio ambiente y con esto poder aprovechar su potencial de generación de electricidad limpia al máximo. Como un intento de determinar y entender de la mejor manera dichas interacciones se han desarrollado algunas metodologías para apoyar dichas actividades y de alguna forma estandarizar las mediciones llevadas a cabo en los estudios y evaluaciones de impacto ambiental de las centrales eoloeléctricas, con objeto de encontrar resultados confiables y que puedan servir como un parámetro de comparación entre diferentes emplazamientos a escala mundial.

En el caso particular de México, es bien conocido el hecho de que uno de los sitios con mayor potencial eoloeléctrico, el Istmo de Tehuantepec, es también por sus características geográficas una ruta natural de migración para la avifauna. Lo anterior ha sido un motivo de preocupación tanto para desarrolladores de proyectos eoloeléctricos, como para aquellos sectores encargados de la protección de la vida silvestre en México. Es importante recalcar que por lo general existe una empatía entre ambos grupos; los protectores de la vida silvestre reconocen las bondades de la energía eólica y a su vez los desarrolladores de proyectos eoloeléctricos desean mitigar el impacto ambiental que sus proyectos podrían tener en todos los aspectos y particularmente aquel sobre la avifauna y murciélagos, lo que sin duda representa una oportunidad para alcanzar sinergias y acuerdos que lleven a buen término el aprovechamiento del potencial eoloeléctrico, no tan sólo en México, sino a escala mundial.

Adicionalmente, tomando en cuenta las características fisiológicas de las aves, las cuales difieren en ocasiones de las de los seres humanos, algunos investigadores han propuesto diversas técnicas para mitigar las fatalidades aviarias, incluyendo patrones de pintado en rotores, así como algunos dispositivos sonoros. Sin embargo, aún no existen evidencias de que

los métodos propuestos sean efectivos y en algunos casos las conclusiones de los investigadores han resultado hasta cierto punto negativas. Al respecto, actualmente continúa la investigación y desarrollo de una técnica o una combinación de las mismas que sea capaz de evitar las posibles colisiones aviares y de los murciélagos con los aerogeneradores, y es otro de los principales retos de la industria eoloelectrónica.

De tal forma que en este capítulo se hace un resumen de los factores que de forma natural mitigan el impacto ambiental de la energía eólica respecto a las colisiones de avifauna y murciélagos; posteriormente se presentan algunas medidas y recomendaciones para minimizar dicho impacto, así como algunas tecnologías que han sido propuestas con el mismo fin; la última sección del capítulo está referida a los lineamientos, guías y documentación en diversos países que pretende mitigar dicho impacto mediante prácticas que hacen a la energía eólica más amigable con el ambiente, y en particular con la avifauna y los murciélagos.

4.2 Objetivos particulares del Capítulo 4

- i. *Enfatizar las consideraciones que de manera natural mitigan los impactos de la energía eólica en avifauna y murciélagos.*
- ii. *Hacer recomendaciones de las mejores prácticas y recomendaciones, en cuanto a: selección de sitios, espaciamiento y diseño de aerogeneradores para mitigar las colisiones de avifauna y murciélagos.*
- iii. *Analizar algunas tecnologías propuestas para mitigar las colisiones de avifauna y murciélagos.*
- iv. *Revisar algunos de los lineamientos propuestos en otros países para mitigar las colisiones de avifauna y murciélagos.*

4.3 Factores que mitigan de manera natural el riesgo de colisión de aves migratorias, residentes y murciélagos

Existen factores que de forma natural mitigan de gran manera el riesgo de colisión de aves migratorias, residentes y murciélagos con los aerogeneradores y hacen evidente que la generación eoloeléctrica por si sola representa un menor riesgo ambiental que otras fuentes energéticas. Tomar en cuenta estas consideraciones refuerzan los argumentos a favor del emplazamiento de centrales eoloeléctricas para sustentar las características amigables de la energía eólica con el medio ambiente. Adicionalmente, estos factores no representan un costo extra para el emplazamiento de las centrales eoloeléctricas, o en su caso si son considerados desde el los primeros pasos del emplazamiento de la central, los costos son menores que llevar a cabo acciones correctivas posteriores a la puesta en marcha de la central eoloeléctrica, pues estarían incluidos dentro del proceso de análisis y planeación.

4.3.1 Caso: Aves migratorias

Para el caso de las aves migratorias cabe mencionar que dos terceras partes de las aves se desplazan durante la noche y vuelan tan alto que es difícil percibir las a simple vista (Eymen, 1975; Dingle, 1995; Navarro y Benítez, 1995). Lo anterior indica que dicha cantidad de aves que migran no tienen la posibilidad de colisión con los aerogeneradores, debido a su considerable altura de vuelo, pues la literatura indica también que en ocasiones la altura a la que se mueven las aves migratorias es generalmente entre 100 y 1,500 o hasta el extremo de los 10,000 m, (Berthold, 1993; Navarro y Benítez, 1995). Lo anterior sugiere que en las zonas sobre rutas de aves migratorias se pueden mitigar considerablemente las posibles colisiones aviares mediante un emplazamiento adecuado tomando en consideración las alturas de los aerogeneradores que se instalen, así como sus diámetros, lo cual estará en función de estudios previos en los que se determine relacionados con la altura típica de vuelo de las aves sobre los terrenos específicos en los que se planea emplazar una central eoloeléctrica.

Asimismo, una gran cantidad de especies se concentran en presas, lagunas, humedales, playas, estuarios y cerca del mar (patos, halcones, aguilillas, playeros, costureros, chorlitos, falaropos, zarapitos, vuelvepedras); otros grupos prefieren bosques y selvas (colibríes, rapaces, búhos, golondrinas, cazamoscas, hojarasqueros, vireos y chipes) (Gurrola, 2004). Lo que indica y hace evidente que haciendo uso de las técnicas de ornitología de censo de aves, las mejores

prácticas la ingeniería y una adecuada selección de sitios, es posible evitar aquellos en que la gran mayoría de las especies de aves migratorias usan para su descanso u obtener su alimento. En este caso es recomendable utilizar sitios que ya han sufrido alguna clase de degradación ambiental previa lo que ha causado que el alimento para las aves migratorias en esas zonas sea escaso y por lo tanto no represente un lugar atractivo para la avifauna.

Adicionalmente, es conocido el hecho que las aves que van emigrando en cualquier dirección, ya sea Sur o Norte, establecen direcciones muy precisas de vuelo, así como los tiempos de partida y llegada de las poblaciones migratorias solamente varían unos cuantos días de un año a otro (Keast y Morton, 1980; Berthold, 1993; Dingle, 1995). Aunque aquí cabe mencionar que el cambio climático global está ocasionando un cambio del patrón de migración de las aves, ocasionado por las temperaturas más templadas, lo que en ocasiones retrasa el inicio de la migración, así como su respectivo regreso. A pesar de lo anterior, se puede considerar que las rutas de aves migratorias pueden ser establecidas con cierto nivel de precisión y que por lo tanto, es posible identificar aquellos sitios y periodos específicos en los que pudiera haber mayor riesgo de colisiones aviares, con objeto de evitarlos. Asimismo, dado que las fechas de tránsito de las aves migratorias varían solamente unos cuantos días de un año a otro es posible incrementar las medidas de vigilancia en el período crítico y de ser necesario tomar medidas operativas que mitiguen las colisiones aviares con los aerogeneradores ya instalados.

Por otra parte, de acuerdo a Gurrola (2004) la población de avifauna que migra es prácticamente imposible de estimar; sin embargo, mediante el conjunto de observaciones mundiales a lo largo de casi un siglo, ha sido posible determinar cifras de dos o tres billones de aves que pasan el verano en Norteamérica y se concentran en otoño e invierno en Latinoamérica y el Caribe. Este hecho es de gran utilidad pues es posible que haciendo uso de las metodologías ya establecidas de estimación de riesgo de fatalidades, es posible y a la vez muy importante cuantificar y clasificar las posibles fatalidades de aves migratorias y ubicar dicha cantidad y clasificación en una perspectiva más apegada a la realidad, que establezca que el número de fatalidades ocurrido es mínimo en comparación con la enorme cantidad de aves que vuelan por encima de los aerogeneradores y que por supuesto no sufren daño alguno. Por otra parte, se puede hacer una determinación de las posibles causas de las colisiones ocurridas, pues en algunos casos se pueden considerar casos aislados y atípicos, como sería el

caso de individuos enfermos o de edad avanzada que no resistieron el esfuerzo exigido por la migración.

Todos estos casos citados, sin duda son hechos que por su base científica brindan información sólida y realista para el público en general o en su caso especialistas, con lo que es posible contrarrestar aseveraciones y opiniones negativas generadas en contra de emplazamiento de centrales eoloelectricas, como se ha dado en algunos casos por grupos que no se encuentran a favor del desarrollo de la energía eólica.

4.3.2 Caso: Aves residentes

Como ya se ha mencionado en el Capitulo 3, la mayoría de los estudios desarrollados para estimar las colisiones de aves con aerogeneradores demuestran que éstos ocasionan un efecto despreciable de fatalidades sobre las colonias de aves residentes. Dichos estudios demuestran que las fatalidades de aves alcanzan *un valor promedio de dos a cinco por año por aerogenerador y que en algunos de los sitios estudiados no se ha encontrado fatalidad alguna* (AWEA, 2008). Por lo anterior, es posible decir que existe realmente un bajo impacto sobre aves residentes. Adicionalmente, por razones obvias, cuando existen áreas ya degradadas, donde ya existe poca vegetación alta, ofreciendo pocas opciones de alimentación así como hábitat para las aves residentes, la cantidad de avifauna disminuye de forma importante, al compararse con la población existente en otras zonas por lo que el riesgo de fatalidades disminuye en la misma proporción.

Por otra parte, también es conocido el hecho de que típicamente las alturas de vuelo de las aves residentes son relativamente bajas y van de 4 a 52¹ metros de altura sobre el terreno (POWIWD-V. 2005). Por lo anterior es posible establecer las alturas adecuadas a las que se emplacen los aerogeneradores y el diámetro de sus rotores; todo lo anterior, por supuesto, tomando en cuenta los resultados obtenidos de los estudios previos en los que se determinen el rango de vuelo de las aves residentes; así que tomando en cuenta lo anterior es posible reducir aún más la probabilidad de colisión de aves residentes con los aerogeneradores.

¹ De acuerdo al documento citado el 73% de las aves residentes observadas en Altamont Pass vuelan dentro de este rango de alturas.

4.3.3 Caso: Murciélagos

Como en el caso de la avifauna existen factores que pueden mitigar de manera natural el riesgo de colisión de murciélagos; con el propósito de hacer evidente que la generación eoloeléctrica en dichas zonas implica menor riesgo ambiental que en algunas otras, aunque en este caso la información disponible no es tan abundante como en el caso de las aves. En el caso de los murciélagos aún se están desarrollando muchos estudios para entender el fenómeno de las colisiones, y se han propuesto una gran cantidad de temas de investigación, los cuales se espera arrojen resultados para prevenir fatalidades. Asimismo, es difícil determinar las diferencias entre fatalidades de murciélagos residentes y migratorios, ocasionado por la falta de información disponible. Aunque, cabe mencionar que se sospecha que los murciélagos migratorios se encuentran en mayor riesgo que los residentes, debido a que durante el proceso de migración de alguna forma no utilizan su sistema de ecolocación; básicamente por dos razones: la primera es que no hacen uso de este sistema porque no requieren alimento y por lo tanto no necesitan detectar insectos; la otra razón argumentada es que de alguna forma no hacen uso de este sistema, como un método de ahorro energético, durante los largos y demandantes vuelos de migración (POWIWD-V, 2005, Sagrillo, 2006).

Existen algunos de los factores que de forma natural disminuyen los riesgos de colisión de murciélagos con los aerogeneradores instalados en zonas ya degradadas por actividades humanas o en su caso por la acción de la naturaleza. Por ejemplo, el hecho de que las tasas de fatalidades de murciélagos, generalmente, es alta en zonas boscosas, moderadas en áreas abiertas cercanas a estas zonas boscosas, y mucha más baja en áreas abiertas (POWIWD-V, 2005).

Lo anterior es a consecuencia de que los murciélagos habitan en mayor cantidad en zonas boscosas, pues hacen uso de la vegetación para su descanso, además de que en estas zonas tiene una gran cantidad de alimento disponible. Por lo que, tomando en cuenta que las centrales eoloeléctricas por lo general son emplazadas en zonas de escasa vegetación, debido a que las características del recurso eólico son más favorables en éstas; por ejemplo, las áreas ya modificadas por actividades humanas, como lo son algunas agrícolas y ganaderas, representan menor riesgo de fatalidades de murciélagos, por lo que con lo anterior es posible recomendar no hacer uso de zonas con alta concentración de vegetación y determinar con mayor certeza aquellas apropiadas para el emplazamiento de centrales eoloeléctricas.

Otro punto a considerar es que la mayoría de las fatalidades de murciélagos ocurren en los períodos finales del verano y principios del otoño, con un pico durante el mes de agosto, lo cual coincide con los períodos de migración (POWIWD-V. 2005, Sagrillo, 2006). Aunque cabe mencionar que los hábitos y rutas migratorias para murciélagos, en México, aún no se encuentran perfectamente definidos, como es el caso de la avifauna, en forma general es posible identificar aquellos sitios específicos, donde existe mayor riesgo, y contar con información para minimizarlos. Asimismo, dado que los periodos migratorios están hasta cierto punto definidos, también es posible incrementar las medidas de operación pertinentes en los períodos críticos por lo que al igual que la situación de protección de avifauna migratoria, se pueden tomar medidas en la operación de las centrales eoloeléctricas, lo cual es una oportunidad más, para mitigar las posibles colisiones de los murciélagos en sus rutas migratorias.

4.4 Medidas de Planeación y Monitoreo Previas al emplazamiento de las Centrales Eoloeléctricas

4.4.1 Importancia de la Selección de Sitios

La selección del sitio específico donde se va a emplazar una central eoloeléctrica es un paso importante, tanto técnica como económicamente, y además debe ser la primera consideración para evitar impactos ambientales adversos y en particular las colisiones de avifauna y murciélagos. Cabe mencionar que alrededor del 10% al 25% de las propuestas de proyectos eoloeléctricos no se construyen o sufren demoras debido cuestiones ambientales y aunque en forma general existe el apoyo público para la energía eólica, en ocasiones esta actitud no siempre se traduce en el apoyo a nivel local; la selección de un sitio específico para cualquier tipo de proyecto energético siempre traerá algunos enfrentamientos y tensiones locales. Todo esto a pesar de que en la mayoría de los casos, los emplazamientos eoloeléctricos apenas representa riesgos mínimos para la ecología local o para las comunidades aledañas. Es por lo anterior que la adecuada selección de sitio permitirá disminuir dichos problemas y agilizará el proceso de emplazamiento de las centrales eoloeléctricas. Por lo anterior, el proceso de selección del sitio específico para el emplazamiento de una instalación eoloeléctrica, así como la ubicación y distribución precisa de los aerogeneradores, debe considerar toda información disponible tanto a nivel regional como local, respecto a las actividades desarrolladas en el sitio y el uso que se tenga en ellas (DOE, 2009).

En forma general y como primera opción se recomienda dar preferencia a sitios que ya han sido degradados por causas naturales o actividades humanas, tales como agricultura y ganadería, o incluso si existe recurso eólico adecuado, hacer uso de zonas industriales; en estos caso la superficie ya no puede ser usada para otros fines ya que por sus características no representan un sitio atractivo para la anidación de la avifauna y tampoco resultan atractivas para aquella de características migrantes, puesto que este tipo de terreno no ofrece ninguna fuente de alimentación, aunque también deben evitarse sitios cercanos a rellenos sanitarios aun en operación, porque éstos ofrecen una fuente de alimentación para cierto tipo de avifauna. En algunos casos, como por ejemplo en países europeos donde la disponibilidad de terreno no es tan abundante, los aerogeneradores se encuentran instalados incluso en áreas urbanas, para aprovechar al máximo las zonas con recurso eólico suficiente para el emplazamiento de aerogeneradores de capacidad de generación (**Figura 4.1**).



Figura 4.1 Aerogenerador instalado en una zona urbana, en las cercanías del estadio “Allianz Arena” en Múnich, Alemania.

Fuente: Jacques Herzog y Pierre de Meuron, 2005

Es recomendable seleccionar sitios donde existe menor población de avifauna, o en su caso, que es utilizada en menor proporción por las especies existentes (Kingsley y Whittam, 2003; Langston y Pullan, 2004). Asimismo, se debe evitar hacer uso de sitios donde existan especies bajo cierto tipo de protección biológica, ya sea por autoridades nacionales o internacionales o en áreas con un hábitat crítico para una especie protegida (Kingsley y Whittam, 2003; Langston y Pullan, 2004). Adicionalmente, por obvias razones de importancia biológica, es recomendable evitar el uso de áreas naturales protegidas (Kingsley y Whittam, 2003; Langston y Pullan, 2004).

Asimismo, deberán ser evitados sitios donde se conozca de antemano la existencia de aves rapaces como: águilas, halcones, o búhos. Cabe mencionar, por ejemplo, que las águilas reales

y algunos halcones hacen uso de acantilados para su anidación, por lo que en estos casos, debe evitarse colocar los aerogeneradores a una distancia cercana a los bordes del acantilado; por la misma razón del punto anterior es recomendable no usar crestas de montañas; también deben evitarse zonas donde existe el hábitat de fauna que pueda ser presa de las aves, como lo serían, por ejemplo: colonias de perritos de la pradera, roedores y conejos.

Por otra parte, deben evitarse sitios donde se conoce que existen rutas de migración de aves o en las zonas con alta concentración de avifauna, a menos que los riesgos hayan sido evaluados y se haya determinado que el riesgo de impacto y mortalidad es muy bajo (de acuerdo a los criterios de mitigación natural de impactos), zonas de alta concentración de avifauna son, por ejemplo: humedales, zonas protegidas o refugios naturales, áreas de gran belleza escénica, zonas de anidación, las zonas ribereñas de lagos, ríos y arroyos. También deben evitarse rutas de tránsito local de avifauna, como por ejemplo, zonas intermedias entre las zonas de donde acostumbra dormir la avifauna y sus áreas de alimentación, lo mismo aplica para las poblaciones de murciélagos; también deben evitarse aquellas zonas con alta incidencia de neblina, nubes bajas, y en general aquellas que por alguna razón cuenten con baja visibilidad.

4.4.2 Distanciamiento entre aerogeneradores

Una vez que ha sido elegido el sitio, el siguiente paso consiste en desarrollar una distribución adecuada de los aerogeneradores en el área disponible. Se debe tomar en cuenta el distanciamiento que debe existir entre los aerogeneradores para no bloquear el libre tránsito de las aves entre éstos (Kingsley y Whittam, 2003; Langston y Pullan, 2004). Con una configuración adecuada de los aerogeneradores es posible reducir el riesgo de fatalidades aviares y de murciélagos. Por ejemplo, si ya se ha identificado alguna ruta migratoria y las correspondientes condiciones meteorológicas ya han sido identificadas, los aerogeneradores deberán ser distribuidos de tal manera que se tengan grandes espacios entre éstos, con lo que no se obstruye el posible paso de la avifauna en su ruta migratoria.

En forma general, la recomendación propuesta para el adecuado distanciamiento y distribución de los aerogeneradores con el propósito de evitar formar una barrera para el vuelo de las aves y en su caso de murciélagos es de **200 metros** en el sentido paralelo a la dirección de los vientos (Percival, 2001). No obstante, los aerogeneradores que se usan en las modernas centrales eoloelectricas, como es el caso de México, tienen diámetros mayores a 50 metros

(Tabla 4.1), y por lo que atendiendo a las buenas prácticas recomendadas de ingeniería para evitar los *efectos de estela*² éstos se colocarán a una distancia mínima de 5 diámetros en áreas con vientos no unidireccionales y con una distancia mínima de 10 diámetros en áreas con vientos unidireccionales. Con esto, la distancia mínima en sitios con vientos no unidireccionales es de **250 metros**, mientras que en áreas con vientos unidireccionales es de **500 metros**, al menos. Por lo tanto, implícitamente, la ingeniería de planta generará una configuración adecuada para mitigar las fatalidades de avifauna y murciélagos. Cabe mencionar que lo anterior, aplica exclusivamente a la distancia entre aerogeneradores en sentido paralelo a la dirección del viento.

Tabla 4.1 Tamaño y potencia de aerogeneradores de cuatro de los principales fabricantes mundiales de aerogeneradores.

Fabricante	Potencia ³ (kW)	Diámetro (metros)
<i>Vestas (Dinamarca)</i>	850	52
<i>Gamesa (España)</i>	850	52
<i>GE Energy (Estados Unidos)</i>	1,500	70.5
<i>Siemens (Alemania)</i>	1,300	62

Fuente: Páginas en Internet de los fabricantes.

Respecto a la dirección perpendicular a la velocidad del viento, las buenas prácticas de ingeniería de planta indican que en áreas con vientos no unidireccionales la separación entre aerogeneradores sea cercana a 5 diámetros; sin embargo, para el caso de áreas con vientos unidireccionales la ingeniería recomienda separaciones que van de dos a tres diámetros. Por lo anterior, entonces, para una central eoloelectrica con aerogeneradores de 50 metros de diámetro, la separación de aerogeneradores para el caso de áreas con vientos no unidireccionales sería **250 metros**, mientras que para áreas con vientos unidireccionales estaría entre **100 y 150 metros**. Es decir, en el segundo caso, el área libre entre aerogeneradores estaría entre **50 y 100 metros**, por lo que en este caso se debe contemplar el factor de avifauna para la disposición de los aerogeneradores e incrementar dicha distancia.

² Disminución de la potencia del viento y turbulencia cuándo éste ya ha pasado por el área de barrido de un rotor de una turbina eoloelectrica.

³ Se tomaron los valores para los aerogeneradores de menor capacidad de cada fabricante.

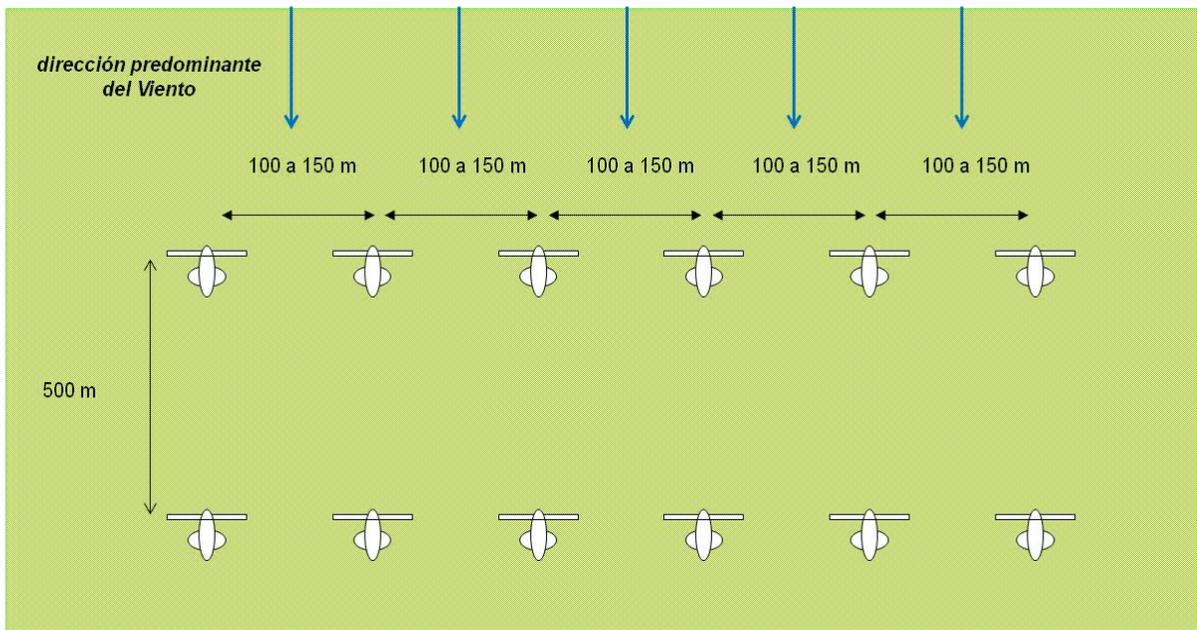


Figura 4.2 Separación de aerogeneradores caso vientos unidireccionales.

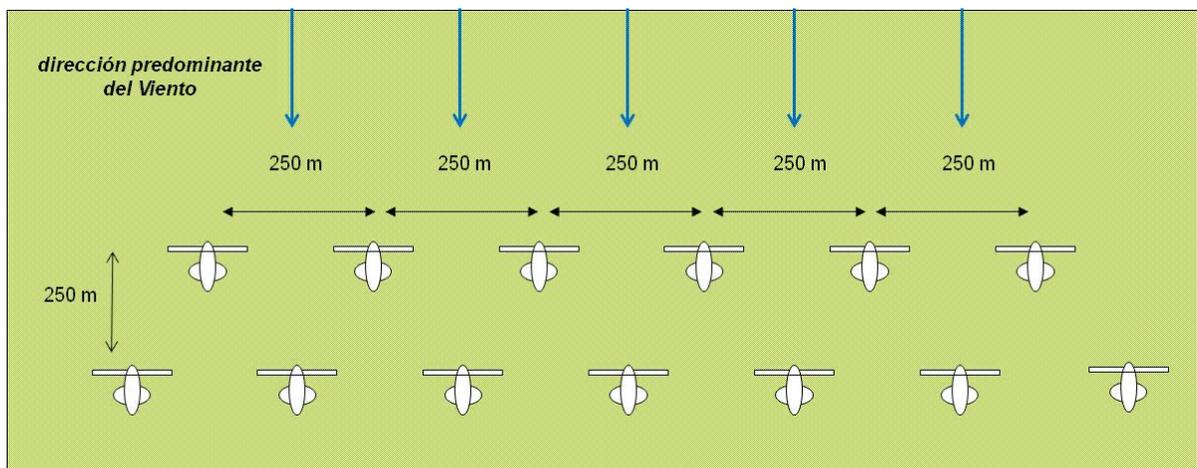


Figura 4.3 Separación de aerogeneradores caso vientos no-unidireccionales.

De acuerdo a lo anterior, es muy importante que los responsables del diseño las de centrales eoloeléctricas, especialmente en áreas con vientos unidireccionales⁴, prevean el riesgo de colisión de aves y murciélagos, tomando en cuenta los estudios previos realizados en el sitio, y lo tengan siempre en consideración al momento de realizar el diseño del emplazamiento de los aerogeneradores en el sentido perpendicular a los vientos dominantes, con el fin de que en caso de ser necesario, incrementar dicha distancia.

⁴ Como es el caso del Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec.

4.4.3 Factores de consideración en los aerogeneradores

En el caso de los propios aerogeneradores, también existen factores para mitigar y disminuir los riesgos de fatalidades de avifauna y murciélagos. Las torres de los aerogeneradores deberán ser del tipo tubular y no deberán usarse aquellas del tipo estructural (**Figura 4.4**) debido a que las características de este tipo de torres les ofrecen un soporte para establecer y construir sus nidos entre los elementos estructurales de las mismas, aumentando el riesgo de alguna fatalidad.



Figura 4.4 Deben evitarse las torres de elementos estructurales.
Fuente: Propia.

Adicionalmente, para el caso de torres tubulares también es recomendable evitar la instalación de escaleras y plataformas externas a las torres, pues esto también proporciona un soporte para la construcción de nidos. Adicionalmente, deberán mantenerse siempre cubiertas las nacelas, tanto por razones de seguridad para la avifauna, como por cuestiones estéticas (**Figura 4.5**).



Figura 4.5 Aerogenerador sin cubierta de la nacela en San Gorgonio Pass, California.
Fuente: Gipe (2008).

Respecto a la altura de los aerogeneradores, es conocido el hecho que a mayor altura, es posible conseguir mayor velocidad de viento y por lo tanto mejor recurso eólico; sin embargo si de acuerdo a las observaciones de avifauna y murciélagos en el sitio, dicho incremento de altura significa un riesgo para estos, la altura deberá ser disminuida, con objeto de mitigar el riesgo de fatalidades. Actualmente, las torres, incluyendo los rotores alcanzan alturas cercanas a los 120 metros sobre el nivel del suelo. Por lo que se ha planteado una nueva pregunta de cual sería el límite de altura máxima que alcanzarán los aerogeneradores. Este parámetro es muy importante al considerar la afectación que se tendría sobre las aves migratorias. La mayoría de estas especies vuelan entre los 90 y 600 metros, así que es probable que sobrepasando estas alturas, los aerogeneradores tendrían mayor afectación en dichas especies, de lo que lo hacen actualmente. Por lo anterior la pregunta a responder es si existe un umbral de la altura de los aerogeneradores con respecto a la prevención de colisiones aviarias y cual sería dicho límite. Asimismo, para el caso de turbinas eolieléctricas pequeñas es recomendable evitar, en la medida que la ingeniería lo permita el uso de cables de retenida para sujetar las torres, lo cual también aplica las torres de medición y análisis de viento.

Por lo general, para aquellos aerogeneradores con altura mayor a 65 m en la parte superior del área de barrido de los rotores, las normas de tránsito aéreo indican que deberán ser señalizadas con luces. Por lo anterior, se recomienda hacer uso de luces estroboscópicas de color blanco y sólo deben ser utilizadas durante la noche; la frecuencia y intensidad de las luces deberán ser aquellas mínimas recomendadas por las normas de aviación del sitio donde se emplace la central eolieléctrica. En la medida de lo posible y de acuerdo a las normas de aviación, deberá ser evitado el uso de luces de color rojo, debido a que este color de luz, aparentemente, durante la noche, atrae a las aves migratorias en mayor proporción que las de color blanco (Mathew, 2007). A fin de cuentas y en forma general para el caso de México, el señalamiento de los aerogeneradores para protección del tránsito aéreo deberá ser determinado de acuerdo a lo estipulado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT⁵.

No obstante, se sabe que algunas especies de aves protegidas tanto residentes como migratorias pueden tener patrones de vuelo que no incluyan las alturas de área de barrido de varios modelos de aerogeneradores (por ejemplo, menos de 30 metros y más de 100 metros de

⁵ Se hizo una búsqueda sin éxito de alguna norma o especificación mexicana relacionada al señalamiento de estructuras altas.

altura). En tales casos, se considera que los emplazamientos de instalaciones eoloeléctricas en estos sitios pueden ser ambientalmente viables, siempre y cuando los patrones de vuelo sean determinados con la precisión adecuada.

4.4.4 Estimación del riesgo potencial de fatalidades

Así que una vez que se ha elegido el sitio específico para el emplazamiento de la central eoloeléctrica y se ha hecho el proyecto de planta y distribución de los aerogeneradores, el riesgo potencial de colisiones de avifauna y murciélagos puede ser determinado mediante alguna metodología ya establecida. Si no se cuenta con información biótica de la avifauna del sitio, se deberán realizar el monitoreo y las evaluaciones en el mismo, haciendo uso de las tecnologías y metodologías adecuadas. Estas evaluaciones deberán incluir todas las especies del sitio, desde las residentes, las rutas migratorias y aquellas que podrían llegar a residir para la época invernal. Adicionalmente a la información relacionada a la cantidad de avifauna y su distribución, se deberá incluir aquella relacionada con el comportamiento y hábitos de la misma (Mathew, 2007).

La capacidad de medir confiablemente los impactos ambientales de una central eoloeléctrica depende de los parámetros elegidos a ser observados, en el presente caso la población de aves, y el régimen de la distribución espacial y temporal. Se debe determinar cuál será plan de análisis adecuado para la central eoloeléctrica, con el objeto de encontrar valores confiables y obtener valores estadísticamente correctos Sin embargo, sin un plan de obtención de datos correcto o únicamente llevando la recolección de muestras no controladas, únicamente se obtendrán resultados con ambigüedades, y conclusiones científicamente erróneas, lo que traerá consigo una mala apreciación del real efecto de la central eoloeléctrica sobre el medio ambiente.

Los métodos experimentales clásicos para la realización del análisis de impacto ambiental sobre avifauna requieren la investigación de cambios significativos en la abundancia de individuos antes y después del emplazamiento de la central eoloeléctrica, tanto en las áreas elegidas como variables (las cuales pueden incluir uno o varios aerogeneradores), denominadas como de tratamiento, así como a en aquellas elegidas, a una distancia adecuada, que servirán como comparación de la cantidad de población en el sitio, denominadas de control, aunque siempre las áreas deben ser de hábitats comparables. El método experimental

más comúnmente usado para evaluar el impacto ambiental es aquel denominado “Control de Impacto Anterior-Posterior” (Green, 1979). Mediante este método, y como su nombre lo indica, consiste en llevar a cabo evaluaciones de la avifauna antes y después del emplazamiento, así como hacer uso de algún otro sitio como referencia. Las fatalidades de avifauna son evaluadas mediante la búsqueda de ejemplares que han colisionado, ya sea sistemáticamente alrededor de una turbina seleccionada, o en forma aleatoria en cualquier turbina del emplazamiento eoloelectrico. Asimismo, de acuerdo al Manual de Selección de Sitios⁶ de la Asociación de Energía Eólica de los Estados Unidos, es recomendable llevar a cabo estudios, tanto previo al emplazamiento de la central como una vez que la central se encuentra en operación. La **Tabla 4.2** presenta un resumen de dichos estudios recomendados.

Tabla 4.2 Resumen de estudios recomendados para la evaluación del impacto de la energía eólica en avifauna y murciélagos

<i>Estudio/tipo de avifauna</i>	<i>Descripción</i>	<i>Objetivo</i>
<i>Puntos de Conteo de Uso de Avifauna/Avifauna Diurna</i>	<p>Consiste de una serie de observaciones en puntos establecidos</p> <p>Todas las aves observadas en un radio especificado deben ser registradas por un periodo de tiempo establecido</p> <p>Los registros incluyen altura y dirección de vuelo</p> <p>El punto de observación depende del tipo de terreno y la vegetación del sitio</p>	<p>Evaluar el riesgo de una potencial colisión, estimando el número de veces que vuela a través del área de barrido del aerogenerador.</p> <p>Contar con información de las especies que habitan en el área.</p>
<i>Puntos de Conteo de Avifauna residente/Avifauna Diurna</i>	<p>Consiste de una serie de observaciones en puntos establecidos</p> <p>Todas las aves observadas en un radio especificado deben ser registradas por un periodo de tiempo establecido</p> <p>Debe evitarse contar dos veces un mismo individuo</p> <p>Debe llevarse a cabo en horas tempranas del día durante la época de anidación y bajo condiciones climáticas en calma</p>	<p>Contar con información de la abundancia y composición de las especies residentes en el área de estudio.</p>
<i>Mapeo de hábitats/Avifauna en general</i>	<p>Los mapas deben ser preparados a través un análisis de gabinete, con fotos aéreas, literatura existente, y SIGs, para posteriormente ser verificada en campo</p>	<p>Evitar el emplazamiento de los aerogeneradores y otros componentes del proyecto en un lugar cercano a zonas sensibles para el hábitat.</p>

⁶ AWEA Siting Handbook, Febrero, 2008.

Continuación Tabla 4.2. Resumen de estudios recomendados para la evaluación del impacto de la energía eólica en avifauna y murciélagos

Inspección de anidación de aves rapaces/Aves rapaces	<p>Búsquedas de posibles evidencias de anidación en el sitio</p> <p>Llevada a cabo en tierra o medio inspección aérea, dependiendo del sitio y la avifauna a analizar, durante la época de anidación</p>	<p>Evaluar la presencia de aves rapaces en el área.</p> <p>Contar con información de la actividad de anidación en el área, mediante el conteo de aves adultas y jóvenes.</p>
Conteo visual de aves/Avifauna en general	<p>Censo numérico de especies específicas o bajo cierto estado de protección biológica</p>	<p>Comparar información con otras áreas para determinar la importancia relativa del área de estudio para la avifauna del sitio.</p>
Evaluaciones mediante radares marinos/Avifauna diurna, nocturna y murciélagos	<p>Llevadas a cabo mediante radares marino portables montados en vehículos</p> <p>No es requerido ni apropiado para todos los proyectos</p> <p>Se usa regularmente cuando existe alguna preocupación de una ruta migratoria o cuando se sospecha que murciélagos podrían estar en riesgo</p>	<p>Proporcionar información en las tasa de paso y alturas sobre el nivel del suelo de la avifauna y murciélagos volando en el área de estudio</p> <p>Contar con información acerca de la cantidad de ave so murciélagos volando a través del área de barrido de los aerogeneradores</p>
Evaluaciones acústicas de aves migratorias nocturnas/Avifauna migratoria nocturna	<p>Los detectores acústicos son usados para detectar y registrar sonidos de aves que suelen cantar durante la migración</p> <p>Se están desarrollando nuevas herramientas e instrumentos para usarlas con este objetivo</p>	<p>Proporcionar información de la tasa de paso de aves migratorias nocturnas</p> <p>Identificar algunas especies</p>
Uso del radar NEXRAD	<p>Mediante este tipo de radares es posible determinar aquellas áreas utilizadas por la avifauna migratoria para descanso o como una etapa en su viaje</p> <p>La información regularmente se hace pública para su análisis y detectar actividad de avifauna en un sitio específico</p>	<p>Cuantificar el tiempo y el monto de avifauna migratoria sobrevolando la región o las proximidades del área de estudio.</p> <p>Identificar las proximidades usadas por la avifauna para su descanso.</p>
Reportes de vida silvestre (*)	<p>Es un procedimiento de seguimiento para el reporte de anomalías detectadas sobre la vida silvestre más allá de la búsqueda de restos.</p>	<p>Contar con información relacionada a las fatalidades de cualquier tipo relacionadas a la central eoloelectrica, tanto su composición, especies mas recurrentes y aquellas bajo algún tipo de protección.</p>
Búsqueda de restos de aves y murciélagos/Avifauna en general y murciélagos (*)	<p>Búsqueda normalizada de restos de avifauna y murciélagos en la central eoloelectrica</p> <p>Las tasas de fatalidad tienen que ser ajustadas por factores de búsqueda y rapiña, debido a que no todos los restos son encontrados o algunos son retirados por la fauna del sitio</p>	<p>Obtener estimados empíricos de tasas de fatalidad.</p>

Fuente: Manual de Selección de Sitios de la Asociación de Energía Eólica de los Estados Unidos.

(*) Estos estudios son llevados a cabo ya durante las fases de operación de la central eoloelectrica

Tomando en cuenta lo anterior, se verifica que es necesario el conocimiento del escenario previo y su seguimiento durante la fase operativa, en virtud de que sólo de esa manera se podrá ir avanzando en el conocimiento profundo del posible impacto de los aerogeneradores sobre la avifauna y los murciélagos y los métodos para minimizarlo. Aplicando los métodos adecuados para recabar información⁷, esta será de gran utilidad para seleccionar las áreas de menor riesgo, así como para ubicar de manera precisa los aerogeneradores y seleccionar su altura de instalación, diámetros de sus rotores y la separación entre éstos. Con todo lo anterior es posible establecer un escenario previo y estimar el posible impacto sobre la avifauna y murciélagos, con lo que se puede anticipar y tomar medidas de mitigación adicionales a ejecutar en caso de que llegara a ser necesario durante la fase operativa.

Por otra parte, en los Estados Unidos, la denominada “National Wind Coordinating Collaborative” desarrolló una metodología, haciendo uso de la información recopilada con los métodos ornitológicos, con la cual es posible estimar un índice del riesgo I_r de colisión de avifauna con los aerogeneradores, mediante el uso de siguiente ecuación:

$$I_r = A F_v F_h$$

Donde:

A = Es la media de observación de una especie en el sitio

F_v = factor de ajuste por visibilidad de la especie considerada

F_h = factor de ajuste por altura de vuelo

El valor de **A** depende del número de observaciones promedio en el sitio, **F_v** depende de la cantidad de veces que las especies que están consideradas en el estudio son observadas, y **F_h** depende de los hábitos de altura de vuelo de las especies consideradas en el estudio.

⁷ Véase Anexo F

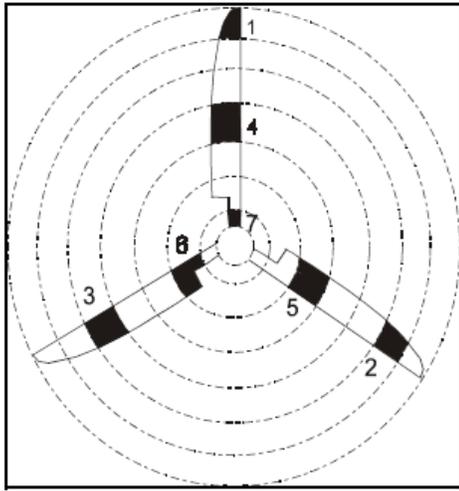
4.5 Tecnologías propuestas para prevenir las colisiones de avifauna con aerogeneradores

Una parte de la investigación y desarrollo tecnológico de la industria eólica está siendo enfocado hacia el desarrollo de métodos para minimizar las colisiones aviarias. Algunos de estos métodos son simples; por ejemplo, se ha planteado incluir algunos patrones de diseños de pintura sobre los álabes del aerogenerador, que al girar los harían fácilmente visibles, disminuyendo el efecto de distorsión en la visión ocasionado por su propio giro. Algunos otros métodos son más sofisticados, como el uso de fuentes de sonido dentro de rangos audibles para aves, que las alertan de la presencia de algún aerogenerador, o el uso de pinturas dentro del espectro ultravioleta, aunque a nivel laboratorio, el uso de estos dos últimos métodos no han reportado una disminución considerable de fatalidades. A continuación se presenta una breve descripción de algunos de estos métodos propuestos para mitigar las colisiones aviarias.

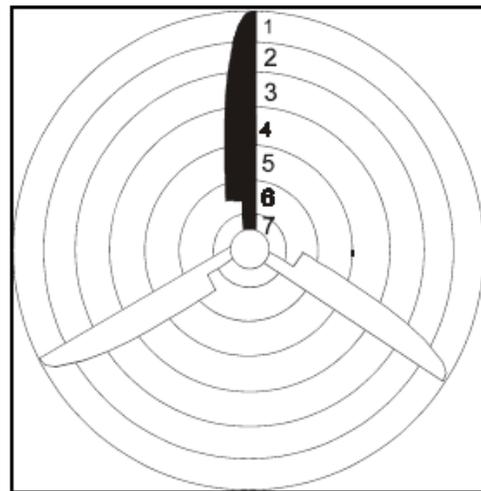
4.5.1 Métodos visuales

4.5.1.1 Patrones de pintado

Se han llevado a cabo estudios (Hodos, 2002; Potocki y Gaffney, 2000) los cuales han analizado en laboratorio la óptica fisiológica y la psicofísica animal, así como la electrofisiología de la retina de algunas aves para entender las posibles causas de colisiones de la avifauna. Las colisiones de aves con aerogeneradores de movimiento aparentemente lento parecen paradójicas tomando en cuenta la excelente visión que la mayoría de aves posee, y tratándose especialmente de aves rapaces. Sin embargo, el análisis óptico indicó que a medida que el ojo se acerca a los álabes girando del aerogenerador, la imagen retiniana del álabe (que es la información que se transmite al cerebro de la ave) aumenta de velocidad hasta que el movimiento es tan rápido que la retina no puede continuar con el seguimiento de la imagen, por lo que dicha imagen pierde definición y se hace transparente al cerebro; por lo que el ave interpreta como que no existe ningún obstáculo y por lo tanto como un área segura de vuelo, con la consecuente colisión. Este fenómeno también es percibido por el ser humano y es conocido como “*falta de definición de movimiento*” (Potocki y Gaffney, 2000).



Pintado alternativo de franjas



Un solo álabe totalmente pintado de negro

Figura 4.6 Dos patrones de Pintado propuestos para álabes de aerogeneradores (Potocki y Gaffney, 2000).

Dicho fenómeno es más evidente en las puntas de los álabes de los aerogeneradores girando a velocidades mayores a 35 RPM (Potocki y Gaffney, 2000). Las zonas centrales de los álabes no sufren dicho fenómeno por su menor velocidad tangencial. Debido a que todo el álabe gira a la misma velocidad rotacional, parece ser que la variable determinante es la velocidad tangencial de las puntas del álabe. Dicha velocidad es la que limita capacidad de la retina para procesar imágenes en forma tan rápida, mientras que las velocidades más bajas de las regiones centrales permiten que el rotor del aerogenerador sea percibido con mayor claridad.

La solución para disminuir dicho efecto es maximizar el tiempo entre estímulos sucesivos de la misma región de la retina. Cualquier tipo de patrón aplicado en los álabes que no tome esto en cuenta será de poca efectividad. Para llevar a cabo esto, los diseños son tales que no repiten el mismo patrón en cada álabe. De esta forma, los estímulos que cualquier región retiniana recibe por segundo son reducidos por un factor de 3 y por lo tanto el tiempo entre cada estímulo se triplica.

Los autores de este estudio diseñaron diversos patrones de pintura sobre los álabes de los aerogeneradores con objeto de que la retina pueda determinar la presencia de un objeto. Estos patrones incluyen franjas alternas en los álabes o un álabe totalmente pintado de negro, como los mostrados en la **Figura 4.6**. Varios de estos patrones aumentaron efectivamente la visibilidad de los álabes girando. Sin embargo, sobre cierta velocidad también perdieron su visibilidad y se volvieron invisibles. Con la información generada, los autores pudieron

determinar las distancias a las cuales los aerogeneradores pintados con dichos patrones pierden su visibilidad. Contrario a lo que se podía pensar, los rotores de mayor diámetro, girando más lento, pierden su visibilidad a una distancia de 50 metros, mientras que los aerogeneradores más pequeños girando a velocidades mayores, la pierden a tan solo 20 metros de distancia.



Figura 4.7 Aerogeneradores con los álabes pintados con un patrón visible en Altamont Pass, California.

Fuente: Google Earth, 2009.

4.5.1.2 Uso de Pinturas ultravioletas

En el documento “Comparison of Avian Responses to UV-Light-Reflective Saint on Wind Turbines” se analiza otro método para disminuir el riesgo de colisión de las aves mediante el uso de pinturas reflectivas ultravioletas (UV) (Young, et.al, 2003). De acuerdo al documento las aves tienen un espectro visual mayor que el de los seres humanos, por lo que son capaces de visualizar la luz UV. Por lo anterior, se supone que esta capacidad puede ayudar a las aves durante el proceso de búsqueda de pareja, a evitar depredadores, encontrar su alimento y como una ayuda en sus métodos de orientación durante las migraciones.

La luz UV se encuentra en el rango de longitudes de onda de los 0 a 400 nm. Las longitudes de onda por debajo de los 300 nm son absorbidas por el ozono en la atmósfera y las longitudes de onda por debajo de los 310 nm son absorbidas por los ácidos nucleicos y proteínas en el ojo. Por lo tanto la luz UV disponible para visión está en el rango de los 320 a 400 nm. Los seres humanos pueden detectar solamente la luz entre 400 y 700 nm (llamada luz visible). La fisiología del ojo de las aves les permite percibir la luz dentro del espectro UV. Algunas investigaciones han sugerido que las aves pueden ser más sensibles a la luz UV que a la luz visible. Sin embargo, ninguno de estos estudios ha determinado si las aves son capaces de

detectar objetos pintados con pintura reflexiva artificial de tipo UV, con mayor facilidad que con pintura convencional. (Young, et.al, 2003).

Por lo anterior, desafortunadamente de acuerdo a los resultados presentados en el documento, no existe suficiente evidencia para respaldar el hecho de que el uso de pinturas ultravioleta (UV) disminuya el riesgo de colisiones o fatalidades de aves de aquellas pintadas con pintura convencional. Aunque, de acuerdo al autor las condiciones en las que fue llevado el estudio no fueron las mejores, por lo que las conclusiones encontradas en el estudio se basan más en el juicio profesional más que en la comparación estadística hecha en el estudio (Young, et.al, 2003).

4.5.2 Dispositivos y métodos sonoros en los aerogeneradores

Una de las soluciones propuestas para disminuir las posibles colisiones aviarias es el uso de dispositivos sonoros que adviertan a las aves sobre la presencia de los aerogeneradores. El documento “Avian Hearing and the Avoidance of Wind Turbines” (Dooling, 2002) describe la medida de audición de las aves, los efectos del ruido en la audición, y la relación entre ésta y los niveles de ruidos generales alrededor de los aerogeneradores.

De acuerdo al documento, existen diversas versiones relacionadas con la capacidad auditiva de las aves; por ejemplo, que las aves tienen mejor capacidad auditiva en alta frecuencia que los seres humanos u otros mamíferos; o que su capacidad es altamente aguda, aunque estas presunciones no han sido comprobadas como verdaderas. La capacidad auditiva se define como el sonido más suave que se puede oír a diversas frecuencias; pero se ha encontrado que en general las aves tienen menor capacidad que muchos mamíferos, incluyendo a los seres humanos (Dooling, 2002).

El documento determina que las aves tienen mejor capacidad auditiva en el rango de 1 a 5 kHz. Los equipos o métodos sonoros propuestos para alertar a las aves de la presencia de los aerogeneradores por lo regular no son eficaces, debido a que las aves se acostumbran a ellos y eventualmente tienden a ignorarlos. Los dispositivos que pretenden hacer uso de frecuencias no audibles para el ser humano también son ineficaces, puesto que el rango de frecuencia auditiva es más estrecho para las aves que para los seres humanos. La literatura indica que en condiciones ventosas las aves no puedan oír el ruido de los álabes de los aerogeneradores, hecho que el ser humano si hace. En términos prácticos, el ser humano con una capacidad

auditiva normal puede oír probablemente el ruido de un aerogenerador, a una distancia dos veces mayor que lo que lo haría un ave.

También se especifica que en algunas ocasiones ciertos defectos de fabricación presentes en los álabes de los aerogeneradores tienden a generar un sonido. Dependiendo del nivel de este sonido y del nivel del ruido del viento mismo, se especula que este sonido podría ayudar a las aves a detectar la presencia del aerogenerador. Debido a que el ruido mismo generado por estos defectos y el ruido del viento están ambos en un rango de frecuencias bajas de 1 a 2 kHz, entonces se había propuesto añadir una señal acústica en la región de mejor capacidad auditiva de las aves (rango de 2 a 4 kHz), lo que no incrementaría de forma significativa el nivel de ruido total emitido por el aerogenerador, aunque dicho sonido sí sería de ayuda para advertir a las aves de la presencia de los aerogeneradores. Sin embargo, es posible que las aves no sean capaces de detectar visualmente la turbina debido al efecto de falta de definición de movimiento, por lo que en ocasiones ya se habrían aproximado al aerogenerador, especialmente bajo fuertes condiciones de viento, antes de que sean capaces de escucharlo y poder evadirlo con éxito. Por lo tanto, de acuerdo a los autores de dicho documento, se ha concluido que la hipótesis que el ruido de los aerogeneradores es una opción que puede disminuir las fatalidades de aves, aun no se encuentra totalmente comprobada.

Por lo anterior, se puede concluir que de acuerdo a los estudios realizados, el uso de dispositivos sonoros o de métodos visuales no ha demostrado ser todavía una medida efectiva de mitigación de colisiones de aves con aerogeneradores. El uso de estos métodos aun no garantiza la disminución en el número de fatalidades aviarias, por lo que su uso debe ser limitado hasta que su efectividad sea comprobada y cuando sea el caso es recomendable monitorear las centrales eolieléctricas donde los desarrolladores propongan usarlos con objeto de determinar su nivel real de mitigación de colisiones.

4.6 Lineamientos y Guías a escala global para minimizar el impacto de la energía eólica en avifauna y murciélagos

Al mismo tiempo que la energía eólica ha alcanzado una expansión importante a escala mundial, la preocupación de su posible impacto en la avifauna inicialmente, y posteriormente en los murciélagos, ha crecido, por lo que en los países donde se ha desarrollado la energía eólica a gran escala, también se han implementado lineamientos, guías, y recomendaciones

para mitigar los impactos en la vida silvestre. Algunos de estos documentos se enfocan hacia los métodos para determinar los posibles impactos, llevar a cabo las mediciones de actividad y observaciones de avifauna y murciélagos, así como recomendaciones de métodos y acciones para mitigar las fatalidades, una vez que el posible impacto ha sido determinado. La **Tabla 4.3** presenta a manera de resumen los contenidos de algunos de estos documentos.

Tabla 4.3 Documentos de Lineamientos para Mitigación de Fatalidades de Avifauna y Murciélagos en el ámbito mundial

<i>Documento</i>	<i>País/Región</i>	<i>Contenido</i>
<i>Wind Farms and Birds: Interim Standards For Risk Assessment</i>	Australia	<ul style="list-style-type: none"> • Procedimiento secuencial para evaluar el riesgo potencial y emprender medidas de mitigación
<i>Effects of Wind Farms on Birds</i>	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del impacto ambiental • Lineamientos para su mitigación y selección de sitios
<i>Windfarms and Birds : An analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues</i>	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> • Reporte desarrollado por BirdLife International • Técnicas de recolección de información biótica • Recomendaciones y criterios para selección de sitios
<i>Wind farm development and nature conservation</i>	Inglaterra	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendaciones para la evaluación de impacto ambiental • Acciones de monitoreo y evaluación de vida silvestre
<i>Guidelines for assessment of wind farm's impacts on birds</i>	Polonia	<ul style="list-style-type: none"> • Lineamientos para evaluación del impacto ambiental • Lineamientos de mitigación y selección de sitios
<i>Guía de las Mejores Prácticas</i>	México	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendaciones para la mejor selección de sitios en general
<i>Studying Wind Energy / Bird Interactions: A Guidance Document</i>	Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos y estudios para la recolección de información biótica. • Análisis de reducción de riesgos
<i>Developing Methods to Reduce Bird Mortality in the Altamont Pass Wind Resource Area</i>	Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis realmente profundo del problema en Altamont Pass • Recomendaciones de mitigación específicas para dicho sitio
<i>Wind Energy Siting Handbook</i>	Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del impacto ambiental • Recomendaciones de mitigación del impacto
<i>California Guidelines For Reducing Impacts To Birds And Bats From Wind Energy Development</i>	Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Lineamientos de mitigación y selección de sitios • Métodos y estudios para la recolección de información biótica. • Recomendaciones para elaboración de reportes

Continuación, **Tabla 4.3** Documentos de Lineamientos para Mitigación de Fatalidades de Avifauna y Murciélagos en el ámbito mundial

<i>Wind Power Impacts on Wildlife and Government Responsibilities for Regulating Development and Protecting Wildlife</i>	Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendaciones para llevar a cabo y necesidades de investigación • Responsabilidades que deben asumir los gobiernos
<i>Assessing Impacts of Wind-Energy Development on Nocturnally Active Birds and Bats: A Guidance Document</i>	Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación del impacto ambiental enfocada a especies de hábitos nocturnos
<i>Mitigation toolbox</i>	Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Amplia recolección y análisis de documentos desarrollados en el tema, desde aquellos de análisis de impacto hasta las medidas de mitigación
<i>Synthesis and Comparison of Baseline Avian and Bat Use, Raptor Nesting and Mortality Information from Proposed and Existing Wind Developments</i>	Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Comparación de fatalidades de diferentes especies, lo cual determina aquellas que son más propensas a sufrir colisiones con los aerogeneradores y usar esta información como parámetro de comparación con otros sitios.
<i>Chapter 5. Wind Power Siting and Environmental Effects</i>	Estados Unidos	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis del impacto ambiental • Recomendaciones de mitigación del impacto

Cabe mencionar que ninguno de estos documentos es de carácter obligatorio, sino que por el contrario son únicamente recomendaciones, lineamientos o guías voluntarias, pero que sin duda son llevadas a cabo para cumplir con las manifestaciones de impacto ambiental, las cuales sí son un requisito necesario para el emplazamiento de las centrales eoloeléctricas en la mayoría de estos países. Este hecho demuestra que en su mayoría las empresas desarrolladoras de proyectos eólicos tienen un alto nivel de responsabilidad ecológica, lo cual además representan una imagen ante la opinión pública, reforzando sus postulados de empresas limpias y con sentido de responsabilidad de protección ambiental.

4.6.1 Proyecto de Norma Oficial Mexicana

Dentro del ámbito de “**El Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México**”, como una de las principales acciones para agilizar el emplazamiento de proyectos eoloeléctricos en la República Mexicana, en el año 2005 fue emitido para ser sometido a consideración y aprobación de los organismos correspondientes el proyecto de Norma Oficial Mexicana “NOM-XXX-SEMARNAT-2005”; de acuerdo al texto del mismo proyecto de Norma, establece como objetivo y campo de aplicación lo siguiente:

“establece las especificaciones técnicas de protección del medio ambiente que deben observarse durante la construcción, operación y abandono de instalaciones eoloeléctricas en

zonas agrícolas, ganaderas y eriales, con objeto de prevenir y mitigar los impactos ambientales que puedan producir estas actividades y es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para el responsable de dichas actividades, con excepción de las plantas de generación con una capacidad menor o igual a medio MW utilizadas para respaldo en residencias, oficinas y unidades habitacionales”.

En este proyecto de norma, de observancia obligatoria, se establece que para la instalación de una central eoloeléctrica en México, y como cualquier otro proyecto para generación eléctrica, se deberá obtener la autorización correspondiente en materia de impacto ambiental por parte de la SEMARNAT. Pero a diferencia de otros proyectos eléctricos, en este caso es suficiente presentar un “Informe Preventivo” en sustitución de la “Manifestación de Impacto Ambiental”, de acuerdo a la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección del Medio Ambiente. Actualmente, el proyecto de norma se encuentra en fase de aprobación y se espera que pronto sea publicado, para su aplicación a futuros proyectos de generación eoloeléctrica en México. Lo anterior significa que los proyectos eoloeléctricos desarrollados actualmente en México, han estado sujetos a presentar la Manifestación de Impacto Ambiental.

Respecto a la protección específica de avifauna migratoria el proyecto de norma en uno de sus apartados, se encuentran especificadas las distancias mínimas entre los aerogeneradores, para evitar la formación de una barrera para el paso de avifauna migratoria. Asimismo, se especifica que si por alguna razón durante el desarrollo del informe preventivo correspondiente se identifica algún posible problema que cause un impacto ambiental sobre la avifauna, deberán especificarse las acciones y medidas a tomar para mitigarlos. Asimismo, contiene otras secciones que ayudan a mitigar las fatalidades aviarias; algunas de estas secciones consideran usar únicamente torres tubulares y realizar el tendido del cableado requerido en forma subterránea únicamente, así como otros lineamientos para minimizar los impactos tal como aquellos relacionados a el uso suelo, el ruido, el impacto visual, y otros que en cierta medida pueden ser comunes con proyectos de otra índole, como lo es el manejo y disposición de residuos.

En términos generales el proyecto de Norma es muy apropiado, pues contiene la gran mayoría de las recomendaciones expresadas en el presente capítulo para la mitigación de los impactos ambientales en general en la avifauna y murciélagos, aunque cabe mencionar que el proyecto de norma no sólo se limita a la protección de avifauna, sino que se refiere e incluye las

acciones requeridas para la protección del medio ambiente y minimizar el impacto ambiental durante las diferentes fases del emplazamiento de una central eoloeléctrica en la República Mexicana, aunque, por otra parte se encuentra delimitada únicamente a zonas agrícolas, ganaderas y eriales, y no incluía dentro de sus cláusulas la protección de aves residentes y murciélagos, por lo que se recomendaría incluir en el texto de la misma, acciones para la protección de estas especies de quirópteros con los mismos parámetros descritos para las aves.

Asimismo, dentro del contenido de la Norma se detectó que un posible problema en el caso crítico del distanciamiento entre aerogeneradores. Al respecto, se recomienda modificar el inciso correspondiente (4.2.14) para incrementar la separación entre las hileras de los aerogeneradores y así éstas no constituyan una barrera para el libre tránsito de las aves y los murciélagos, cuando el área en consideración, de acuerdo con los estudios previos y el informe preventivo correspondiente indiquen cierto nivel de importancia para dichas especies o existan evidencias que la zona se encuentra dentro de algunas de las rutas migratorias, tanto de aves como de murciélagos.

Por todo lo anterior, se espera que la norma propiciará el ordenamiento sobre el desarrollo eoloeléctrico en México, comenzando por las áreas de menor riesgo y cuidando que progresivamente se vaya profundizando en el conocimiento detallado de los posibles impactos y la forma de mitigarlos, con lo cual se deberá minimizar el impacto ambiental de los proyectos eólicos, que sean emplazados en México, sobre aves y murciélagos.

4.6.1.1 Consideraciones para un Reporte Preventivo adecuado para la Norma

Cada vez es más requerida y común la evaluación ambiental de las centrales eoloeléctricas sobre la avifauna y murciélagos, durante las fases previas de construcción, durante la construcción misma de la central y durante la propia operación del proyecto. Se recomienda que esta evaluación se lleve a cabo tanto para especies de aves y murciélagos migratorios como para las especies endémicas, aunque para estas especies las zonas de anidación en el caso particular de la propuesta de Norma y tomando en cuenta las zonas donde se pretende instalar los aerogeneradores, ya se encuentran afectadas, por las actividades de agricultura, ganadería, o se consideran como zonas eriales.

Esta evaluación debe ser anexa al informe preventivo considerado en el punto 4.1.1. de la propuesta de Norma. En las evaluaciones se requiere determinar los recursos biológicos dentro

del área del proyecto, los patrones y rutas migratorias de aves y murciélagos, así como el status de protección tanto de las aves migratorias, como de las especies endémicas el sitio donde se van a instalar la central eólica. Las evaluaciones sobre las aves y murciélagos regularmente se llevan a cabo durante las estaciones de primavera y otoño para identificar los patrones migratorios de las aves y murciélagos que habitan y transitan por el sitio.

Es recomendable llevarla a cabo en dos fases: la primera fase debe ser desarrollada durante un año previo a la puesta en operación de la central, o en su defecto seis meses previos al inicio de su construcción, con el objetivo de establecer el caso base y condiciones previas a la operación de la central eoloeléctrica para contar con parámetros de comparación de los niveles de abundancia de especies antes y después de la operación. Esta información ayudará a determinar los impactos indirectos a la avifauna y a los murciélagos. Las evaluaciones de impacto ambiental, durante las fases previas de construcción, deben determinar al menos lo siguiente:

- Cuales son las especies de aves y murciélagos que habitan, emigran o transitan en el área del proyecto
- El conteo puntual aproximado de las aves y murciélagos que habitan y transitan en el sitio
- Si alguna especie de estas se encuentra considerada en algún estado de riesgo, así como cual es su proporción respecto a otras especies
- Cuáles son las principales características de vuelo de estas especies, tales como: dirección, altura respecto al nivel del suelo, los comportamientos diurnos tanto de aves migratorias como locales
- Cuál es la frecuencia de condiciones atmosféricas que ocasionan pobre visibilidad para la avifauna, especialmente durante la migración en las estaciones de primavera y otoño. Incluyendo niebla densa, bancos de nubes bajos, lluvias fuertes, etc.
- Si existen algunas características del terreno que provoque que el vuelo de las aves o murciélagos se concentren dentro del área de afectación de la central eólica, tales como cañones, zonas boscosas, zonas montañosas, o cualquier otra situación que incremente el riesgo de colisión de las especies en la zona

- Existe alguna otra estructura en el sitio que tenga una fuente de iluminación que podría atraer a las aves hacia la central eólica
- Tipo de vegetación en el sitio aledaña a la instalación de la central eoloelectrica

Las evaluaciones del periodo de crianza se llevan a cabo lo más cerca posible al sitio propuesto para identificar las especie residentes y proporcionar las números aproximados de la población aviar existente para cada especie. Las evaluaciones sobre comportamientos diurnos, incluyen determinar la abundancia relativa de los aves residentes y migratorias (incluyendo las rapaces), la composición de la especie, el uso espacial, y de los comportamientos de vuelo. Este método identifica poblaciones de la especie y hace estimaciones basadas en inspecciones visuales, así como la identificación de los diferentes tipos de aves. Asimismo, se requiere hacer un reporte de las especies puestas en peligro o bajo protección, de acuerdo a la Norma Mexicana NOM-059-SEMARNAT-1994.

La segunda fase de esta evaluación ambiental sería durante la misma operación de la central eoloelectrica, evaluando los mismos parámetros de la primera fase. Si la afectación es mayor que la pronosticada en el informe preventivo, deberán determinarse las causas de estas fatalidades y hacer las correcciones adecuadas al diseño de la central o ubicación.

4.7 Conclusiones Particulares del Capítulo 4

- Existen factores que de manera natural mitigan la colisión de aves y murciélagos con aerogeneradores y hacen evidente que la generación eoloeléctrica por si sola representa un menor riesgo ambiental que otras fuentes energéticas.
- Cerca de dos terceras partes de las aves migratorias se desplazan durante la noche y vuelan tan alto que es difícil percibir las a simple vista, por lo que dicha cantidad de aves no tienen la posibilidad de colisión con los aerogeneradores debido a su considerable altura de vuelo, la cual va de los 100 y hasta los 1,500, o incluso el extremo de los 10,000 m.
- La gran mayoría de la literatura revisada en la cual se evalúan las colisiones de aves con aerogeneradores demuestran que éstos ocasionan un efecto despreciable de fatalidades sobre las colonias de aves residentes, los cuales alcanzan un valor promedio de únicamente dos a cinco por año por aerogenerador y que en algunos de los sitios analizados no se ha encontrado fatalidad alguna.
- Se ha reconocido que la mayoría de las fatalidades de murciélagos coinciden con los períodos de migración, por lo que recomendable incrementar las medidas de operación pertinentes en estos períodos críticos por lo que se pueden tomar medidas en la operación de las centrales eoloeléctricas.
- La selección del sitio específico donde se va a emplazar una central eoloeléctrica es el primer paso para evitar impactos ambientales adversos y en particular las colisiones de avifauna y murciélagos. Es recomendable seleccionar sitios donde existe menor población de avifauna o que es utilizada en menor proporción por las especies existentes y deben evitarse aquellos:
 - donde existan especies bajo cierto tipo de protección biológica;
 - de importancia biológica;
 - donde se conozca de antemano la existencia de aves rapaces;

- donde existe el hábitat de fauna que pueda ser presa de las aves, como lo serían, por ejemplo: colonias de perritos de la pradera, roedores y conejos;
 - donde se conoce que existen rutas de migración de aves o en las zonas con alta concentración de avifauna, a menos que los riesgos hayan sido evaluados y se haya determinado que el riesgo de impacto y mortalidad es muy bajo;
 - donde existan rutas de tránsito local de avifauna, lo mismo aplica para las poblaciones de murciélagos; y
 - sitios zonas con alta incidencia de neblina, nubes bajas, y en general aquellas que por alguna razón cuenten con baja visibilidad.
- La configuración adecuada de los aerogeneradores reduce el riesgo de fatalidades aviarias y de murciélagos, de tal manera que se tengan grandes espacios entre los rotores, con lo que no se obstruye el posible paso de la avifauna en su ruta migratoria, residente o murciélagos.
 - En el caso de los aerogeneradores, propiamente hablando, es recomendable:
 - usar torres del tipo tubular y evitar el uso del tipo estructural;
 - mantener siempre cubiertas las nacelas, y
 - hacer uso de luces estroboscópicas de color blanco y sólo deben ser utilizadas durante la noche; manteniendo la frecuencia y intensidad al mínimo.
 - Los métodos para la realización del análisis de impacto ambiental sobre avifauna requieren la investigación de cambios significativos en la abundancia de individuos antes y después del emplazamiento de la central eoloelectrica, así como el conocimiento de las características bióticas del sitio elegido.
 - Existe líneas de investigación de métodos y técnicas enfocadas a evitar las colisiones aviarias y de murciélagos con los aerogeneradores. A pesar de que la efectividad de estos métodos aún no se ha alcanzado, es posible que en el futuro sea descubierto un método o la combinación de varios que muestren se efectividad y sean una solución viable para la resolución del problema.

Conclusiones Generales

- Las fuentes renovables de energía están llamadas a formar parte importante de la próxima revolución del sector energético a escala mundial; representan una solución viable para los de los grandes problemas que la humanidad está enfrentando actualmente: el abastecimiento oportuno y suficiente de energía de acuerdo a los patrones actuales de consumo y al mismo tiempo revertir los severos daños ecológicos que la explotación y uso de los recursos energéticos, principalmente fósiles han causado en el ambiente de nuestro planeta.
- El potencial de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía supera unas 2,000 veces el consumo de energía al año 2007 a escala mundial, por lo que pueden ser consideradas capaces de abastecer la demanda energética global por si solas; adicionalmente, el desarrollo tecnológico, los programas y acciones de fomento y promoción implementados por los Gobiernos (créditos fiscales, inclusión en portafolios energéticos, leyes de compensación, etc.) son una parte fundamental para el desarrollo y explotación a gran escala de las fuentes renovables de energía, tal como lo representan los casos de la República Federal de Alemania y de los Estados Unidos.
- Por lo anterior, a escala global existe una coyuntura energética muy favorable a las fuentes renovables de energía, incluyendo por supuesto a la eólica, lo que las está llevando a un uso masivo y el incremento de su competitividad económica con respecto a las fuentes energéticas, hasta ahora consideradas como convencionales.
- En dicho marco de coyuntura, la energía eólica ha tomado el liderazgo del aprovechamiento de las renovables, por su abundante potencial de alrededor de 98 Exajoules a escala global, su carácter amigable con el ambiente, ser un elemento eficaz en la mitigación del cambio climático y sus ahora beneficios económicos; lo que ha llevado a llevado a muchos países a implementar políticas y programas de fomento, investigación y desarrollo que han resultado en emplazamiento de más de 100 GW instalados a escala global.

- Pese a que nuestro país con altos potenciales de aprovechamiento de fuentes de energía renovables, contar con las condiciones propicias para el desarrollo de proyecto y la existencia de voluntad política para su desarrollo la participación de estas fuentes energéticas puede ser considerada todavía como marginal en la oferta de energía primaria del país (alrededor del 0.043%)¹. Por otra parte, México cuenta con el conocimiento, la experiencia y los recursos humanos suficientes para el desarrollo e implementación de proyectos eoloeléctricos, así lo demuestran los más de 30 años de trabajo en este campo.
- México cuenta con un amplio recurso eólico susceptible de ser aprovechado; tan sólo en el estado de Oaxaca, los estudios realizados han arrojado valores potenciales de unos 44,350 MW; aunque cabe mencionar que en el resto del país ha existido poca recolección sistemática y ordenada de información del recurso eólico. Adicionalmente, el aprovechamiento de este recurso con el emplazamiento de proyectos eoloeléctricos representa una oportunidad para el desarrollo regional sostenible en México, a través de generación de empleos y las retribuciones económicas para las comunidades donde se emplacen los proyectos.
- El aprovechamiento de la energía eólica representa menores impactos ambientales en lo general para el ambiente, pues el análisis del ciclo de vida de un aerogenerador demuestra que la energía eólica presenta menores emisiones y residuos contaminantes que otras fuentes de energía, incluso renovables; además. la energía eólica ha demostrado su eficacia como elemento fundamental en el abatimiento del cambio climático global; así lo demuestra el hecho que un solo aerogenerador de 750 kW anualmente es capaz de reducir las emisiones de CO₂, en una cantidad similar a la que secuestraría un área boscosa de 92 Ha.
- A pesar de sus ventajas ambientales, y como cualquier otra actividad del ser humano incluyendo por supuesto las actividades del sector energético, el aprovechamiento de la energía eólica no se encuentra exento de presentar algunos impactos ambientales, como lo son: ruido, sombreado, pérdida de hábitat, impacto visual y aquel relacionado a las colisiones de avifauna y murciélagos.

¹ Esto sin tomar en cuenta la energía generada por la Comisión Federal de Electricidad.

- La percepción pública negativa de la energía eólica como una amenaza contra la vida silvestre fue causada por malas prácticas de ingeniería y un descuido de los aspectos ambientales, y no porque los aerogeneradores por si solos representen una amenaza para la avifauna y murciélagos, pues la evidencia científica, tanto ornitológica y de ingeniería, brinda información sólida y realista para que el público en general pueda generar su propio juicio y contrarrestar aseveraciones y opiniones negativas generadas en contra la energía eólica.
- Los estudios desarrollados para estimar las colisiones de aves con aerogeneradores demuestran que éstos ocasionan un efecto despreciable de fatalidades sobre las colonias de aves residentes. Dichos estudios demuestran que las fatalidades de aves alcanzan un valor promedio de dos a cinco por año por aerogenerador y que en algunos de los sitios estudiados no se ha encontrado fatalidad alguna. Algunos de estos estudios han sido llevados a cabo en sitios cercanos a rutas migratorias por donde millones de aves transitan cada año. Para el caso de murciélagos, se ha determinado que en la gran mayoría de los casos encontrados, se ha tratado de especies de hábitos migratorios, lo cual puede ser ocasionado a que durante este proceso no hacen uso de su sistema de ecolocación.
- Las estimaciones realizadas relacionadas a las fatalidades de avifauna indican que de cada diez mil fatalidades en los Estados Unidos atribuibles a factores antropogénicos, tan sólo **UNA** es causada por las centrales eoloeléctricas. Asimismo, la literatura revisada muestra que el impacto ambiental del aprovechamiento de la energía eólica, en general, y en particular en la avifauna y murciélagos es mucho menor que aquel ocasionado por el uso de otras fuentes energéticas y que el cambio climático global en si implica una amenaza mucho más seria para la fauna en general, por lo que la energía eólica a fin de cuentas representa una tecnología más amigable con la vida silvestre y hacen evidente que la generación eoloeléctrica por si sola representa un menor riesgo ambiental que otras fuentes energéticas.

- Por otra parte se puede considerar que existen factores que de manera natural mitigan la colisión de aves migratorias, residentes y murciélagos con los aerogeneradores, tales como:
 - La considerable altura de vuelo de las aves migratorias;
 - El conocimiento de los hábitos y periodos de migración de la avifauna y de los murciélagos;
 - La baja altura de vuelo de las aves residentes; y
 - La selección adecuada de sitios.
- De acuerdo a lo anterior, la selección del sitio específico donde se va a emplazar una central eoloelectrica es el primer paso para evitar impactos ambientales adversos y en particular las colisiones de avifauna y murciélagos, por lo que es recomendable seleccionar sitios donde existe menor población de avifauna o que son utilizados en menor proporción por las especies existentes y aquellos que de alguna forma han sido degradados por actividades antropogénicas, como por ejemplo agricultura o ganadería, o por circunstancias naturales; así mismo deben evitarse aquellos:
 - donde existan especies bajo cierto tipo de protección biológica;
 - de importancia biológica;
 - donde se conozca de antemano la existencia de aves rapaces;
 - donde existe el hábitat de fauna que pueda ser presa de las aves, como lo serían, por ejemplo: colonias de perritos de la pradera, roedores y conejos;
 - donde se conoce que existen rutas de migración de aves o en las zonas con alta concentración de avifauna, a menos que los riesgos hayan sido evaluados y se haya determinado que el riesgo de impacto y mortalidad es muy bajo;
 - donde existan rutas de transito local de avifauna, lo mismo aplica para las poblaciones de murciélagos; y

- sitios zonas con alta incidencia de neblina, nubes bajas, y en general aquellas que por alguna razón cuenten con baja visibilidad.
- Una vez que se ha elegido el sitio para el emplazamiento de la central eoloeléctrica, el siguiente punto a considerar para la protección de la avifauna es hacer una adecuada configuración de los aerogeneradores, de tal manera que se tengan grandes espacios entre los rotores de los mismos, con el objeto de no obstruir el paso de la avifauna ya sea en su ruta migratoria, de las aves residentes en sus traslados diarios o en su caso de los murciélagos tanto residentes como migratorios.
- En el caso del diseño propio de los aerogeneradores, es recomendable tomar en cuenta lo siguiente:
 - usar torres del tipo tubular y evitar el uso el tipo estructural;
 - mantener siempre cubiertas las nacelas o góndolas, y
 - hacer uso de luces estroboscópicas de color blanco y utilizarlas únicamente durante la noche; manteniendo la frecuencia y intensidad al mínimo permitido.
- El estudio y análisis adecuado del comportamiento de las aves y murciélagos en un sitio, así como su relación con los aerogeneradores en regiones, áreas y sitios específicos, sólo se puede llevar a cabo mediante estudios previos, tanto regionales como locales, que estimen los posibles impactos y que anticipen medidas de mitigación, incluyendo la selección más adecuada para los emplazamientos eoloeléctricos y su propio diseño; los métodos para la realización del análisis de impacto ambiental sobre avifauna requieren la investigación de cambios significativos en la abundancia de individuos antes y después del emplazamiento de la central eoloeléctrica, así como el conocimiento de las características bióticas del sitio elegido.
- Es recomendable que durante la propia fase de operación, continuar con el monitoreo ambiental, haciendo uso de los métodos y herramientas apropiadas, para determinar si existen algunos impactos sobre avifauna y murciélagos y verificar de alguna manera si las medidas

de mitigación implantadas fueron exitosas o en su caso hacer las correcciones y tomar nuevas medidas de mitigación y proseguir con su evaluación.

- Existen líneas de investigación de métodos y técnicas enfocadas a evitar las colisiones aviares y de murciélagos con los aerogeneradores; a pesar de que la efectividad de estos métodos aún no se ha alcanzado satisfactoriamente, es posible que los esfuerzos realizados brinden un método o la combinación de varios que muestren su efectividad y representen una solución viable a este impacto ambiental.
- Se hace notar que en cuanto a normatividad ambiental para el aprovechamiento de la energía eólica, México es el primer país a escala mundial en desarrollar un proyecto de Norma Oficial de observancia obligatoria, ya que no se encontró ningún documento que regule de forma oficial estas actividades; los documentos emitidos en otros países se limitan únicamente a nivel de recomendaciones, lineamientos y guías.
- A fin de cuentas el progreso en el entendimiento de la interrelación entre los aerogeneradores con la avifauna y murciélagos depende en gran forma de la estrecha colaboración de la industria eólica, los diferentes niveles de gobiernos y los investigadores, por lo que un elemento central del presente trabajo es presentar dicho problema ante todos aquellos interesados, y ser un primer referente, además del proyecto de Norma Oficial Mexicana, disponible en idioma castellano en nuestro país, para buscar la mitigación del posible impacto ambiental de la energía eólica y también proporcionar información valiosa para futuros trabajos y evaluaciones en este tema.
- En forma general, se puede considerar como *rechazada la hipótesis inicial planteada en el presente trabajo*, pues a lo largo del mismo se ha verificado que cuando se realizan de forma adecuada y se toman las medidas pertinentes, ***el emplazamiento de aerogeneradores no representan una amenaza para la avifauna y los murciélagos***, ni de alguna manera son capaces de menguar de alguna manera las poblaciones totales de estas especies, por lo que se refuerzan las características amigables de la energía eólica con el ambiente y por lo que ***es posible, e incluso recomendable, continuar con el desarrollo de proyectos eoloeléctricos, tanto a escala mundial como nacional.***

- Es necesario que sea ya aprobada y entre en vigencia el proyecto de Norma Oficial Mexicana, que establece las especificaciones técnicas de protección del medio ambiente que deben observarse durante la construcción, operación y abandono de instalaciones eoloeléctricas; este documento sería de gran utilidad para disminuir el impacto ambiental de los proyectos eoloeléctricos emplazados en México, además de que serviría como un ejemplo para otros países que deseen aprovechar su potencial eólico de una manera que minimice el impacto ambiental y refuerce los argumentos ambientales de la energía eólica.
- Como una última reflexión personal, es importante considerar que a fin de cuentas todos aquellos que de alguna forma u otra hacemos uso de la energía eléctrica proveniente de diversas fuentes energéticas primarias, somos responsables de las posibles fatalidades aviares y de murciélagos, e incluso de los impactos ambientales en la vida silvestre en general, por lo que debemos hacer uso de nuestra conciencia e inteligencia para ahorrar y utilizar la energía en la forma más eficiente y racional posible, evitando su desperdicio, para de alguna manera contribuir a minimizar las fatalidades de aves y murciélagos en centrales eoloeléctricas en particular y formar parte de la solución a este problema y no únicamente culpar, en este caso, a los aerogeneradores de las mismas. A fin de cuentas el uso eficiente y racional de la energía es la mejor herramienta para la protección del ambiente en general.

ANEXO A

Marco Legal de Proyectos de Energías Renovables para Generación de Electricidad por Actores del Sector Privado en México

A.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

El sector energía tiene un papel decisivo en la vida nacional: genera electricidad e hidrocarburos como insumos para la economía y la prestación de servicios públicos, aporta importantes contribuciones a los ingresos fiscales y da empleo a más de trescientos mil trabajadores. El marco legal para la integración de la generación de energía eléctrica a partir de energías renovables y su integración al sector eléctrico mexicano se encuentra fundamentado desde la propia Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos¹, la cual presenta en sus artículos, la necesidad de formar y conducir un verdadero estado de derecho y a partir del cual se derivan todas las leyes, reglamentos y programas nacionales que dan sustento a la promoción y desarrollo sostenible de la sociedad mexicana.

Lo que concierne a las energías renovables, es determinar los esquemas que permiten el desarrollo de proyectos por parte de actores del sector privado, como por ejemplo, algunas posibles cooperativas de ejidatarios, puedan participar en diversifiquen sus actividades y puedan hacer mejor uso de sus tierras y los recursos energéticos renovables existente en ellas.

Los artículos 25, 27 y 28 de la Constitución son los que sientan las bases para su operación para el desempeño y mejor aprovechamiento de los recursos energéticos con los que el país dispone. El Artículo 25 dice en su párrafo cuarto:

“El sector público tendrá a su cargo, de manera exclusiva, las áreas estratégicas que se señalan en el Artículo 28, párrafo cuarto de la Constitución, manteniendo siempre el Gobierno Federal la propiedad y el control sobre los organismos que en su caso se establezcan.”

¹ Fuente: <http://constitucion.presidencia.gob.mx/>.

A lo que el Artículo 28 en su párrafo cuarto indica que:

“No constituirán monopolios las funciones que el Estado ejerza de manera exclusiva en las siguientes áreas estratégicas: correos, telégrafos y radiotelegrafía; petróleo y los demás hidrocarburos; petroquímica básica; minerales radioactivos y generación de energía nuclear; electricidad y las actividades que expresamente señalen las leyes que expida el Congreso de la Unión..., así mismo en su párrafo quinto dice “El Estado contará con los organismos y empresas que requiera para el eficaz manejo de las áreas estratégicas a su cargo y en las actividades de carácter prioritario donde, de acuerdo con las leyes, participe por sí o con los sectores social y privado.”

Por otra parte, el Artículo 27, el más trascendental para el sector energético del país, en su párrafo sexto expresa lo siguiente:

“Tratándose del petróleo y de los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos o de minerales radioactivos, no se otorgarán concesiones ni contratos, ni subsistirán los que en su caso se hayan otorgado y la Nación llevará a cabo la explotación de esos productos, en los términos que señale la Ley Reglamentaria respectiva. Corresponde exclusivamente a la Nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de SERVICIO PÚBLICO. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines.”

Es así que a partir de la Constitución, como ley suprema del país, se derivan otras leyes y reglamentos que definen las reglas y condiciones mediante las cuales se permite el desarrollo y operación de centrales de generación de energía eléctrica en general por parte de particulares, y donde por supuesto quedan incluidas las centrales a partir de energías renovables, y en particular las del tipo eoloeléctrico. Este tema se encuentra básicamente considerado dentro de la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE) y su Reglamento respectivo, los cuales fueron diseñados como instrumentos legales para regular las actividades de generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica en México, que está conformado básicamente por dos empresas paraestatales: Luz y Fuerza (LyFC) y Comisión Federal de Electricidad (CFE), determinando, además, las actividades que no se consideran Servicio Público, y por ende es donde se abre la posibilidad del desarrollo de proyectos de energías renovables por

parte de pequeñas asociaciones de particulares o en su caso de los ejidatarios, que por ejemplo quieran aprovechar el recurso eólico fluyendo sobre sus tierras.

A.2 Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica

La Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica y su reglamento fueron diseñados como los instrumentos legales para regular el sector eléctrico en México, que como ya se mencionó, está conformado básicamente por dos empresas paraestatales: CFE y LyFC, así como algunas otros actores del sector privado. Sus artículos tercero y cuarto presentan las definiciones de lo que se considera como la prestación de servicio público, así como lo que no está dentro de este rubro, lo cual es la clave para la participación de empresas privadas en la generación de energía eléctrica en México. Así que dichos artículos citan lo siguiente:

ARTICULO 3o.- No se considera servicio público:

I.- La generación de energía eléctrica para autoabastecimiento, cogeneración o pequeña producción;

II.- La generación de energía eléctrica que realicen los productores independientes para su venta a la Comisión Federal de Electricidad;

III.- La generación de energía eléctrica para su exportación, derivada de cogeneración, producción independiente y pequeña producción;

IV.- La importación de energía eléctrica por parte de personas físicas o morales, destinada exclusivamente al abastecimiento para usos propios; y

V.- La generación de energía eléctrica destinada a uso en emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica.

ARTICULO 4o.- Para los efectos de esta Ley, la prestación del servicio público de energía eléctrica comprende:

I.- La planeación del sistema eléctrico nacional;

II.- La generación, conducción, transformación, distribución y venta de energía eléctrica, y;

III.- La realización de todas las obras, instalaciones y trabajos que requieran la planeación, ejecución, operación y mantenimiento del sistema eléctrico nacional.

A partir de estas definiciones, se puede determinar claramente que los proyectos haciendo uso de fuentes renovables de energía tienen la oportunidad de ser desarrollados bajo cualquiera de los siguientes esquemas:

- a. autoabastecimiento,*
- b. cogeneración, (más enfocado hacia el uso de biocombustibles)*
- c. productor independiente,*
- d. pequeña producción y;*
- e. la exportación e importación de energía eléctrica.*

Por lo anterior se puede concluir que no existe impedimento alguno dentro del sector eléctrico para desarrollar proyectos a partir de fuentes renovables para generación de energía eléctrica, por lo que los particulares tienen la oportunidad de participar en esquemas que les permitan participar en proyectos que hagan uso del recurso eólico de México.

A.3 Modelos de Contrato de Interconexión de Fuentes Renovables de energía

La ***Comisión Reguladora de Energía (CRE)*** tiene como misión regular de manera transparente, imparcial y eficiente las industrias energéticas de electricidad y del gas, con objeto de alentar la inversión productiva y garantizar un suministro confiable de energía al país, en forma segura y a precios competitivos, todo con el fin de lograr el mayor beneficio para los usuarios. Sus funciones de regulación fueron asignadas en 1995 a través de la expedición de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía, la cual determina las actividades del sector público y privado que se encuentran sujetas a regulación por parte de la CRE, de las cuales cuatro son relevantes al aprovechamiento de las energías renovables, y por lo que a continuación se enlistan:

- 1 El suministro y venta de energía eléctrica a los usuarios del servicio público;***
- 2 La generación, exportación e importación de energía que realicen los particulares;***
- 3 La adquisición de energía eléctrica para el servicio público;***
- 4 Los servicios de conducción, transformación y entrega de energía entre entidades que tienen a su cargo el servicio público, y entre éstas y los particulares;***

Dentro de este ámbito regulador, y como un esfuerzo para promover las fuentes renovables de energía, la CRE ha desarrollado los ***“Modelos de contratos y convenios para fuentes de energía renovables”***, los cuales pueden ser obtenidos y consultados en la página electrónica

en Internet de la CRE², <http://www.cre.gob.mx>, y mismos que han sido un paso muy importante en México en materia de regulación y de otorgamiento de permisos, pues en estos documentos se han considerado las condiciones y circunstancias técnico-económicas características, bajo las cuales dichas fuentes pueden ser explotadas de la mejor manera. Dichos modelos de contrato se encuentran divididos, funcionalmente, en los siguientes cinco documentos:

- 1 Metodología para la determinación de los cargos por servicios de transmisión de energía eléctrica para fuentes de energía renovable*
- 2 Contrato de interconexión para fuentes de energía renovable*
- 3 Convenio para el servicio de transmisión de energía eléctrica para fuentes de energía renovables*
- 4 Anexos*
- 5 Interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala*

A.4 Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética

Actualmente el Gobierno de México ha expresado su voluntad para el fomento de las energías renovables, por lo que considerando las bondades y ventajas de su uso, ha desarrollado diversos instrumentos y mecanismos en busca de fomentar proyectos que hagan uso de las mismas. Entre los más importantes se encuentran “Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética” la cual fue publicada el día 27 de Noviembre del 2008, la cual cuenta con 31 Artículos divididos en 4 Capítulos, así como 12 Artículos más los cuales son transitorios.

Desde cualquier punto de vista, esta Ley es un avance importante para impulsar el abastecimiento de energía sostenible pues de acuerdo al texto del Artículo primero de dicha Ley, ésta tiene como objeto:

“...regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía

² Debido a la extensión de los modelos y su constante dinámica temporal, no se considero apropiado incluirlos dentro de algún anexo del presente trabajo.

eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética...”

Lo anterior siempre con una perspectiva de protección del clima y medio ambiente. Para ello, se busca promover y hacer uso de la electricidad proveniente de fuentes como la solar, la eólica, la de biomasa, la geotérmica, la de gases de vertedero como el metano y las pequeñas instalaciones hidráulicas, definidas en la misma Ley, y ya presentada al inicio del presente capítulo. La **Tabla A.1** presenta a manera de resumen el contenido de la Ley, así como sus puntos más relevantes en cada uno de sus capítulos.

Tabla A.1 Resumen de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.

Capítulos	Artículos	Relevancia
I.- Disposiciones Generales	4 (del 1° al 4°)	<ul style="list-style-type: none"> Definición de energías renovables a las que aplica esta Ley. Se considera su importancia como tecnologías limpias, su utilidad pública para la transición energética. Instrumento para la reducción de la dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria de energía para el país.
II.- De la Autoridad	6 (del 5° al 10°)	<ul style="list-style-type: none"> Atribuciones y responsabilidades en la ejecución de la Ley de dependencias del Gobierno mexicano. Definición de las políticas requeridas para el fomento para el desarrollo y uso de la mayor cantidad de equipo y componentes de procedencia mexicana para el aprovechamiento de las energías renovables. Metodología de evaluación de las externalidades asociadas con el aprovechamiento de las energías renovables. Mecanismos de regulación ambiental para el aprovechamiento de energías renovables.
III.- De la Planeación y la Regulación	11 (del 11° al 21°)	<ul style="list-style-type: none"> Elaboración y coordinación de la ejecución del Programa de aprovechamiento de energías renovables. Participación social durante la planeación, aplicación y evaluación del Programa. Definición de objetivos y metas específicas para el aprovechamiento de energías renovables. Se pretende ampliar la infraestructura eléctrica necesarias para que los proyectos de energías renovables puedan interconectarse con el Sistema Eléctrico Nacional. Programa de observancia obligatoria para las Entidades y Dependencias de la Administración Pública Federal. Se expedirán modelos de contrato entre los Suministradores y los Generadores que utilicen energías renovables, los cuales contemplaran largos plazos, retribuciones por la energía entregada y las condiciones para los servicios de conducción, transformación y entrega de energía eléctrica. Obligatoriedad del Sistema Eléctrico Nacional a recibir los excedentes de proyectos de autoabastecimiento y de cogeneración, pero siempre de acuerdo a Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Están contemplados los sistemas de cogeneración, aunque no empleen a las energías renovables, siempre y cuando dichos sistemas cumplan con el criterio de eficiencia energética establecida.

Fuente: Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, DOF 28 de Octubre de 2008.

Tabla A.1 Continuación. Resumen de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética

Capítulos	Artículos	Relevancia
IV.- De la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sostenible de la Energía	10 (del 22° al 31°)	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategia mediante el cual se impulsarán las políticas, programas, acciones y proyectos al aprovechamiento de las energías renovables y las tecnologías limpias. • Definición de mecanismos presupuestarios para asegurar la congruencia y consistencia de las acciones destinadas a promover el aprovechamiento de las tecnologías limpias y energías renovables. • El monto mínimo de recursos a ser programado para los subsecuentes ejercicios fiscales será actualizado cada tres años. • Cada año la Secretaría llevará a cabo la actualización de la Estrategia y presentará una prospectiva sobre los avances logrados en la transición energética y el aprovechamiento sostenible de las energías renovables. • Definición de las políticas y medidas para facilitar el flujo de recursos derivados de los mecanismos internacionales de financiamiento relacionados con la mitigación del cambio climático. • Definición de los intermediarios entre los proyectos de aprovechamiento de las energías renovables y los compradores de certificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el mercado internacional.
Transitorios	12	<ul style="list-style-type: none"> • Plazo no mayor de seis meses para someter a consideración y aprobación del Ejecutivo el Programa correspondiente. • Plazo no mayor de ocho meses posteriores para la publicación del Reglamento respectivo. • Plazo no mayor de seis meses para constituir los mecanismos internacionales de financiamiento relacionados con la mitigación del cambio climático. • En el Presupuesto de Egresos de la Federación para cada uno de los Ejercicios Fiscales 2009, 2010 y 2011 se destinarán tres mil millones de pesos para el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sostenible de la Energía. • El día 30 de junio de 2009 se fija como límite para que el Ejecutivo presente públicamente la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sostenible de la Energía.

Fuente: Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, DOF.

Dada la relevancia del artículo octavo de esta Ley, es conveniente mencionar que el mismo representa un avance importante en el desarrollo de las energías renovables, pues se especifican y establecen mecanismos de promoción, fundamentalmente para coordinar esfuerzos entre diferentes niveles de gobierno. Dichas acciones comprenden la suscripción de acuerdos que promuevan acciones para el fomento de empresas relacionadas con el aprovechamiento de las energías renovables para facilitar el acceso a las zonas con el recurso energético y ver la compatibilidad del uso del suelo con el aprovechamiento para tales fines, estableciendo regulaciones en las construcciones tomando en cuenta a los propietarios de los terrenos donde se encuentre el recurso³, y se busquen mecanismos administrativos que simplifiquen la obtención de permisos y licencias para el desarrollo de proyectos.

También es importante destacar la asignación inicial de recursos por 3,000 Millones de Pesos para cada uno de los años fiscales del 2009 al 2011, para el desarrollo de las actividades de promoción y fomento de las energías renovables. Dichos recursos deben ser aprovechados, no tan solo para el desarrollo de proyectos, sino en actividades de investigación y desarrollo tecnológico de equipos y componentes de energías renovables y uso de energías limpias. Así misma se busca favorecer el desarrollo de tecnologías de fuentes renovables de energía para la generación de electricidad que tengan costos más elevados que las tecnologías más competitivas, pero cuyo fomento se justifique con fines de diversidad energética, desarrollo industrial y competitividad.

Así es que mediante esta ley se establecerán los porcentajes mínimos de participación en el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía a corto, mediano y largo plazo y en un artículo transitorio establece una meta de penetración de las fuentes renovables de energía en el sector eléctrico, lo cual permitirá revertir la tendencia actual de disminución de estas fuentes en la oferta eléctrica nacional; se espera que la capacidad adicional de generación requerida será alcanzada por medio de un amplio rango de proyectos, entre los que se incluyen los proyectos propios de CFE, así como aquellos desarrollados mediante la cooperación internacional. Adicionalmente, a estos proyectos se contemplan otros que generen electricidad exclusivamente para su entrega a las redes eléctricas del Sistema Eléctrico Nacional, así como otros de autoabastecimiento con fuentes renovables de energía en comunidades rurales

³ Este aspecto es particularmente importante para el caso de la energía eólica, pues en ocasiones se han presentado dificultades relacionadas a la tenencia de la tierra y la remuneración que los propietarios tendrían por la energía eólica.

aisladas; se contempla incentivar proyectos de electrificación rural con fuentes renovables, en comunidades aisladas que, obviamente, no cuenten con este servicio; la ley también contempla impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico requerido para este tipo de aplicaciones. La iniciativa también comprende la promoción de proyectos con la participación de la población local, como por ejemplo el caso de los ejidatarios en la generación eoloeléctrica en Oaxaca, lo cual representa una oportunidad para la diversificación de actividades de los mismos y la generación de empleos bien remunerados

En conclusión, esta ley permite el fomento de las energías renovables, entendiendo que éstas permiten la diversificación energética y por tanto mayor seguridad energética a largo plazo, que tienen también una mayor intensidad de trabajo humano, por lo que contribuyen a la generación de empleos estables y seguros ya que sus tecnologías ya ofrecen flexibilidad y adaptabilidad; además facilitan la descentralización y la operación de mercados energéticos competitivos.

A.5 Guía de gestiones para implementar en México plantas de generación eléctrica que utilicen energías renovables

En forma general los párrafos de la sección anterior representan el Marco Legal para el desarrollo de proyectos en México a base de energías renovables. Así con el objeto específico de agilizar el proceso de identificación, ubicación, interpretación y cumplimiento de las reglas, trámites y gestiones diversas que se requieren llevar a cabo en los tres órdenes de gobierno para el desarrollo de proyectos de energías renovables, la CONUEE desarrolló un documento denominado ***“Guía de gestiones para implementar en México plantas de generación eléctrica que utilicen energías renovables”***. Dicho documento presenta las diferentes gestiones necesarias para el desarrollo de un proyecto ya sea de: biomasa, solar, mini-hidráulico o eólico. Asimismo, para cada una de estas tecnologías, se hace una revisión breve de las mismas, sus posibilidades de aprovechamiento, de sus costos y se enuncian los principales proyectos desarrollados hasta hoy en México. Por lo anterior se recomienda consultar dicho documento con objeto de ampliar y comprender mejor los trámites requeridos en el desarrollo de proyectos de energías renovables en México, además de que el documento contiene valiosa información acerca de la tecnología, costos y desarrollos emplazados en nuestro país.

ANEXO B

Breve Historia del Aprovechamiento de la Energía Eólica

B.1 De la edad antigua al Siglo XVIII

Desde tiempos muy remotos la energía eólica ha sido aprovechada como fuerza motriz en la navegación y en la obtención de energía o fuerza mecánica en molinos de granos y el accionamiento de bombas mecánicas de agua. Es importante mencionar que tan sólo hace unos cuantos años iniciaron los esfuerzos para aprovecharla en la generación de energía eléctrica. Sin embargo, los egipcios ya navegaban el Río Nilo con embarcaciones de vela 3000 años a. de C. La utilización del viento como fuente de energía en aplicaciones terrestres dio inicio precisamente en Persia desde el Siglo X donde ya se usaban molinos de viento de eje vertical para la molienda de granos, así como en China en el siglo XIII (Sheppard, 2004). En Europa el viento fue una fuente importante de energía para el transporte (barcos de vela), para la molienda de granos y el bombeo de agua, convirtiéndose así en la mayor fuente de energía antes de la invención de la máquina de vapor. La primera mención explícita sobre molinos de viento en Europa continental data de 1105; en Inglaterra hay referencias a molinos de viento del año 1143. Durante el Medievo, alrededor del año 1260, en la ciudad de Canterbury, Inglaterra, los molinos de viento adquirieron gran importancia para la molienda de granos.

En 1332 los molinos eólicos hacen su aparición en Venecia, cabe comentar un hecho curioso relacionado al aprovechamiento del viento, pues en 1341 el Obispo de Utrech intentó establecer autoridad sobre los vientos que soplaban en dicha provincia. Hacia el Siglo XV los molinos de viento y agua se habían convertido ya en el complemento más importante de la fuerza humana y animal. Durante el Siglo XVII la tecnología de molinos estaba ya bastante desarrollada, siendo Holanda el país más avanzado en esta área; se estima que para entonces existían unos 10,000 molinos de viento de una capacidad equivalente de entre 7.5 a 15 KW cada uno (unos 110 MW) en Inglaterra y unos 12,000 en los Países Bajos (unos 125 MW).



Figura B.1 Tradicional Molino Eólico en Holanda (Ámsterdam, 1995).

En 1745, en Inglaterra, Edmund Lee inventó una cola primitiva para las maquinas eólicas, lo cual fue un gran avance que permitió la orientación perpendicular a la dirección viento en forma automática de las maquina eólicas, maximizando así la energía captada. Hacia finales del Siglo XVIII en Holanda existían unos 20,000 molinos de viento, aproximadamente equivalentes a unos 400 MW en total. Para esta época las aplicaciones de la energía eólica se habían entendido ya a la industria del papel y los aserraderos; actualmente estas maquina eólicas se han convertido en una atracción turística de aquel país. Estas máquinas eólicas diseñadas principalmente para el bombeo de grandes volúmenes de agua y diferencias pequeñas de altura estaban constituidas en su gran mayoría por madera, con rotores de unos 25 metros de diámetro; incluso la bomba accionada, del tipo helicoidal⁴, o también conocida como *Tornillo de Arquímedes*, estaban construidos de madera (**Figura B.2**).



Figura B.2 Ejemplo de una bomba de tornillo construida de madera (Nelson et al, 2004)

⁴ También conocida como Bomba de Tornillo.

Para esta época, las máquinas eólicas se contaban por miles y participaban más en diversas aplicaciones industriales, tales como el aserrado de madera. Con la expansión colonial de Europa, vino también el esparcimiento de las máquinas eólicas y así estas fueron construidas en todo el mundo (TIMS, 2009).

Así que a lo largo de los años, a excepción de la impulsión de navíos, el principal uso del viento ha sido el bombeo de agua. Por otra parte, además de los famosos molinos de viento tipo holandeses, también se puede encontrar una bomba eólica en forma de vela, utilizada en el riego en la Isla de Creta (**Figura B.3**) la cual ya incluía en uno de sus “álabes”, un silbato para notificar al operador que el viento había alcanzado una velocidad muy alta y que era necesario ajustar la superficie de la vela para evitar daños a la máquina eólica.



Figure B.3 Maquinas eólicas en la Meseta de Lassithi en la Isla de Creta, Grecia.

Fuente: <http://www.greekhotel.com/crete/lasithi/lasithi-sightseeing/windmills.htm>

B.2 Máquinas eólicas tipo “Granjero”

Las máquinas eólicas tipo **Granjero**, también conocidas como *molinos* o *papalotes de viento*, fueron uno de las grandes soluciones para el suministro de agua en las Grandes Llanuras de los Estados Unidos (Baker, 1984); asimismo, estas maquinas eólicas se han convertido en uno de los símbolos de las actividades agrícolas y ganaderas en diversos países del mundo. El arranque en el uso de estos molinos se dio en 1854, cuando Daniel Halladay, un granjero norteamericano, introdujo estos molinos eólicos o aerobombas en Estados Unidos (**Figura B.4**).

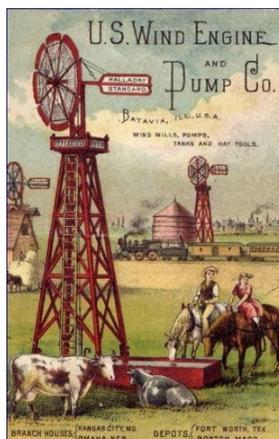


Figura B.4 Poster publicitario de la empresa “U.S. Wind Engine & Pump Co”⁵, propiedad de Daniel Halladay.

Las primeras de estas máquinas fueran construidas con madera, aunque este tipo de máquina ya se encuentra únicamente en los museos (**Figura B.5**).



Figura B.5 Molino eólico construido de Madera; monumento histórico en la Universidad Estatal de Nuevo México, Las Cruces, NM, Estados Unidos.

Para 1883, estas maquinas eólicas ya eran fabricadas en acero y su diseño fue copiado en todo el mundo, por su economía de fabricación y su confiabilidad, todo esto a pesar su ineficiencia energética; aun así se construyeron miles de estas máquinas eólicas. Estas máquinas eólicas representaron una mejora en la calidad de vida de los trabajadores agrícolas quienes empezaron a emplearlos, pues al contar con agua en abundancia y más tiempo para otras actividades productivas, ya no tuvieron que usar su propia fuerza para el bombeo de la misma.

⁵ Esta empresa llegó a convertirse en la empresa de molinos de viento más grande los Estados Unidos. Fuente: <http://www.ironmanwindmill.com/windmill%20history.htm>.

Para principios del *Siglo XX*, ya casi todas estas máquinas eólicas eran hechas de metal, y aún con un diseño multi-álabe, con un diámetro de entre 3 y 5 m. Su máximo grado de utilización se alcanzó para las décadas de los años 30s y 40s, cuando más de seis millones se encontraban en funcionamiento (Nelson, et, al., 2004). Estas máquinas eólicas aun se fabrican y se utilizan para el bombeo de agua para abrevaderos de ganado, riego y aplicaciones residenciales (**Figura B.6**).



Figura B.6 Molino de Viento en la Granja Productora de Pistaches “McGinn” en Alamogordo, Nuevo México en los Estados Unidos.

Actualmente, la gran mayoría de estas máquinas eólicas se encuentran en algunos países de África, y en otros tantos, tal como: Argentina, Australia, Canadá y los Estados Unidos. Cabe mencionar que su costo actual es relativamente elevado en comparación con otras alternativas de bombeo, como lo son los pequeños aerogeneradores eléctricos y los sistemas fotovoltaicos, por lo que recientemente se ha dado un interés por rediseñarlos y abatir sus costos (Nelson, et al., 2004). A pesar de esto, estas máquinas eólicas han demostrado su valor económico y tecnológico, pues a pesar de su tamaño pequeño, se estima que hay alrededor de 30,000 sistemas aun instalados en las Grandes Llanuras y el Suroeste de los Estado Unidos; a pesar de que su potencia es del orden de apenas los 200 a 500 Watts, en conjunto representa una capacidad instalada de unos 6 MW. Se estima que si fuera necesario cubrir estas mismas aplicaciones con electricidad de la red, se requerirían alrededor de 15 MW de centrales térmicas y una inversión de más de 1,000 Millones de Dólares en líneas de transmisión, cableados, bombas eléctricas, y demás equipo requerido; lo anterior sin tomar en cuenta los ahorros en el consumo de combustibles asociados en la generación equivalente de unos 130×10^6 millones de kilowatts-hora (kWh) anuales. Desafortunadamente la mayoría de estas máquinas eólicas ya han estado en funcionamiento por 30 o más años y los gastos de

mantenimiento alcanzan el rango de los \$250 a \$ 400 Dólares por año, por lo que y como ya ha sido denotado los agricultores y ganaderos se encuentran en la búsqueda de otras alternativas para bombeo de agua, aunque nunca deberá descartarse un posible un resurgimiento de los populares molinos de viento.

B.3 Energía Eólica para Generación de Electricidad

B.3.1 Los primeros pasos para generar electricidad con energía eólica

En el año de 1888, Charles F. Brush, en Cleveland, Ohio, construyó la primera máquina eólica para generar electricidad, o aerogenerador, la cual estaba basada en una máquina eólica del tipo granjero; con el rotor constituido por un gran número de álabes, característica denominada comúnmente como alta solidez⁶, y con una cola en forma de veleta, la cual direccionaba el rotor y lo protegía en caso de fuertes vientos (**Figura B.7**). El rotor de 17 m de diámetro estaba construido de madera conectado mecánicamente a un generador de corriente directa mediante una caja de engranes con una relación de 50:1. Bajo condiciones de buen recurso eólico, dicho aerogenerador tenía una capacidad máxima de 12 kW. La unidad estuvo en operación por cerca de 20 años, sin embargo, la baja velocidad de rotación era muy ineficiente para la producción de electricidad de forma comercial; adicionalmente, cabe mencionar que una moderna turbina eólica con un rotor de diámetro semejante tiene una capacidad de unos 100 kW (Nelson, 2008).

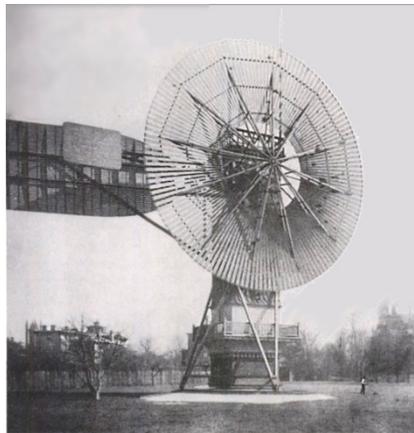


Figura B.7 Generador Eoloeléctrico diseñado en 1888 por Charles Brush.
Fuente: Nelson et al, 2004

⁶ La solidez se define como la relación entre el área proyectada de los álabes sobre el área barrida por el rotor.

B.3.2 Los Cargadores Eólicos

A partir del inicio del Siglo XX, la electricidad se convertía lentamente en un bien de uso común en los Estados Unidos, pero aun existían lugares aislados alejados de las redes eléctricas de distribución para los cuales era muy costoso hacer llegar la energía eléctrica, por lo que en la década de 1930 surgieron en el mercado pequeños aerogeneradores de pequeña capacidad, menor a de medio kilowatt, los cuales eran prácticamente la única fuente de energía eléctrica disponible en zonas rurales. Estos sistemas eólicos independientes para generar electricidad eran conocidos como “Wind Chargers” o ***Cargadores Eólicos***, los cuales contaban con un rotor tipo hélice con 2 ó 3 álabes (**Figura B.8**). La mayoría de estas máquinas eólicas contaban con un generador de corriente directa trabajando a una tensión de 6 a 32 V; algunos de los modelos posteriores ya funcionaban a una tensión de 110 V. La electricidad generada era almacenada en baterías, de donde proviene su nombre de cargadores eólicos (Dodge, 2006).



Figura B.8 Cargador eólico de baterías.
Fuente: Nelson et al, 2004.

Cuando las redes de distribución alcanzaron dichos sitios aislados con energía barata (en su mayoría subvencionada por el estado), los cargadores eólicos se volvieron obsoletos, aunque después de la crisis energética de 1973, algunas de estas máquinas eólicas resurgieron, pero cabe recalcar que ya no con tanta fuerza.

B.3.3 Generación de Energía Eléctrica a Gran Escala

El camino hacia la generación eolieléctrica a gran escala inició hace mas de 100 años, con una serie de intentos para diseñar y construir máquinas eólicas de gran tamaño, tomando como base diferentes conceptos para captar la energía en el viento (Nelson, 2008). Dichos diseños se diferenciaban por su aerodinámica, la forma de sus álabes, la orientación del eje del rotor, ya

sea horizontal o vertical⁷; los más populares de eje vertical fueron los del tipo Darrieus Savonius y Efecto Magnus.

Poul la Cour, científico nacido en Dinamarca, es considerado como el pionero de la moderna teoría aerodinámica para turbinas eólicas; La Cour incluso construyó su propio túnel de viento para realizar experimentos y pruebas relacionadas con el diseño de turbinas eólicas. Así, para 1891 desarrolló la primera máquina eólica de generación de electricidad la cual ya incorporó los principios de diseño aerodinámico (baja solidez, rotor de cuatro álabes, incorporación de diseños aerodinámicos, etc.). Tal vez el mayor logro de estas máquinas fue la mayor velocidad del rotor lo que las hizo prácticas para la generación de electricidad. La primera publicación periódica de energía eólica en el mundo “*The Journal of Wind Electricity*” es también obra de este pionero danés (Dodge, 2006).

Cabe mencionar que una de los grandes campos de investigación de La Cour fue el almacenamiento de energía, por lo que desarrolló sistemas que hacían uso de la electricidad, generada por sus turbinas eólicas, para mediante el proceso de electrólisis producir hidrógeno e iluminar una escuela.



Figura B.9 Generadores Eoloeléctricos Diseñados por Poul La Cour en Dinamarca.

Para 1918 existían alrededor de 120 turbinas eólicas instaladas en Dinamarca, por lo regular en el rango de los 20 a 35 kW, que en total alcanzaban los 3 MW de potencia instalada. Estas turbinas cubrían alrededor del 3% del consumo de electricidad de este país en aquella época.

⁷ Cabe mencionar que la ventaja de los aerogeneradores de eje vertical es que no presentan problemas de orientación, debido a que siempre pueden aprovechar el viento sin importar la dirección de éste último.

Asimismo, en otros países europeos se dieron también intentos para generar electricidad a partir del viento. En Francia en el año 1929, fue construido un aerogenerador con álabes de 20 m de diámetro con una capacidad de 15 kW, a una velocidad de viento de 6 m/s (Dodge, 2006). Posteriormente, en Rusia, cerca de Yalta en el Mar Negro, para 1931, fue desarrollado un aerogenerador de 100 kW, con rotor de 30 m de diámetro y álabes contruidos de madera y recubiertos con placas de acero galvanizado. Esta turbina eólica alcanzó una producción anual de hasta 200 MWh anuales.

Posteriormente, durante el período 1935-1970, existieron intentos en centrales experimentales en los Estados Unidos, Dinamarca, Francia, Alemania y Gran Bretaña, donde fue puesto de manifiesto que los grandes aerogeneradores eran factibles de ser contruidos y generar electricidad, aunque para ese momento los intentos de desarrollar un aerogenerador con aplicación práctica fueran fallidos (Dodge, 2006).

En los Estados Unidos, en el poblado de Grandpa's Knob, Vermont, en el periodo de 1939 a 1941, unos de los intentos de mayor capacidad para generación de electricidad fue construido un aerogenerador conocido como el Smith-Putnam (**Figura B.10**); este aerogenerador incluso estuvo interconectado a la red de suministro. El rotor con 53 m de diámetro estaba instalado sobre una torre de 38 m. Esta máquina eólica sería la más grande del mundo hasta 1978, con una potencia nominal de 1.25 MW a 13.4 m/s. Después de 1,100 horas de operación un álabe defectuoso detuvo la operación de la turbina y con esto el experimento (Nelson, 2008).



Figura B.10 Aerogenerador Smith-Putnam emplazado en el estado de Vermont, Estados Unidos.
Fuente: (Nelson, 2008).

El desarrollo de los aerogeneradores también continuó en Europa al término de la Segunda Guerra Mundial, cuando la escasez energética, principalmente de combustibles fósiles, condujo a mayores costos de la energía. En Dinamarca, el aerogenerador Gedser de 200 kW

operó con éxito hasta los años 60 (**Figura B.11**). Este aerogenerador presentaba un diseño de tres álabes en su rotor.

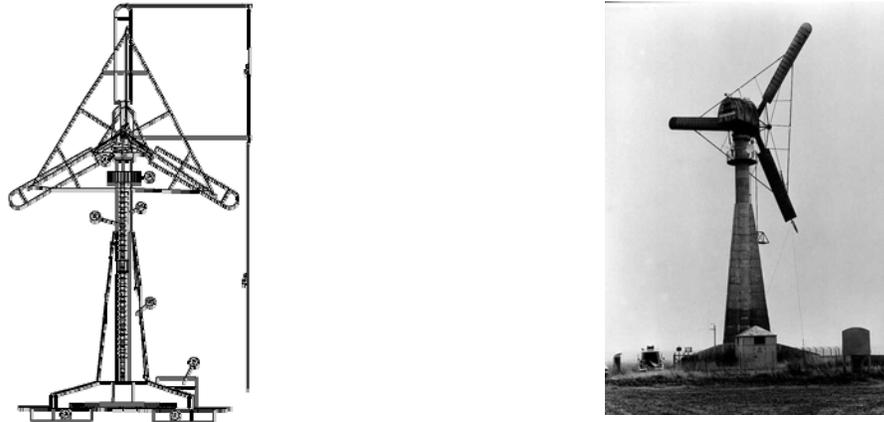


Figura B.11 Generador eoloeléctrico Gedser de 200 kW diseñado en Dinamarca.

En Alemania, el Profesor Ulrich Hutter alcanzó avances importantes en el desarrollo de la tecnología de diseños de eje horizontal, empleando modernos álabes aerodinámicos de paso variable construidos de fibra de vidrio y de plástico, de peso ligero y alta eficiencia. El avance más importante de este diseño fue el hecho de hacer fluir el aire a través del álabes⁸, en lugar de detenerlo, como lo hacía el diseño danés (Asociación de Energía Eólica de Dinamarca, 2008).

Existieron más desarrollos en otros países europeos. En la Gran Bretaña, se construyeron dos grandes aerogeneradores de 100 kW con un rotor de 15 m de diámetro con una torre de 24 metros; la otra turbina desarrollada fue construida a partir de un diseño de francés, conocido como Andreau, el cual contaba un rotor de 24 m de diámetro, instalado en una torre de 30 m, con una potencia nominal de 100 kW. Asimismo de 1958 a 1966, basado en el mismo diseño de Andreau, en Francia se construyeron varios prototipos de aerogeneradores, incluyendo un aerogenerador 800 kW con rotor de 31 m de diámetro el cual operó por varios años (Dodge, 2006).

Por otra parte para los años 20s, en Francia se dio inicio el desarrollo del tipo más popular de la moderna turbina eólica de eje vertical, por parte de Jean-Marie Darrieus (**Figura B.12**). De los varios rotores Darrieus diseñados, el más importante fue un rotor que comprende secciones

⁸ Existen básicamente dos diferentes tipos de impulsar los álabes de una turbina eólica. El primero es conocido como arrastre, que en este caso la velocidad se encuentra limitada por la velocidad del aire y el segundo es creado mediante un efecto aerodinámico de sustentación, similar a un ala de avión, y en este caso los rotores pueden girar a una velocidad mayor que la del aire.

aerodinámicas delgadas y curvas que se juntan en las partes inferiores y superiores de un eje vertical. Sin embargo, no se dieron importantes desarrollos de este concepto hasta los años 60 en Canadá (Nelson, 2008).

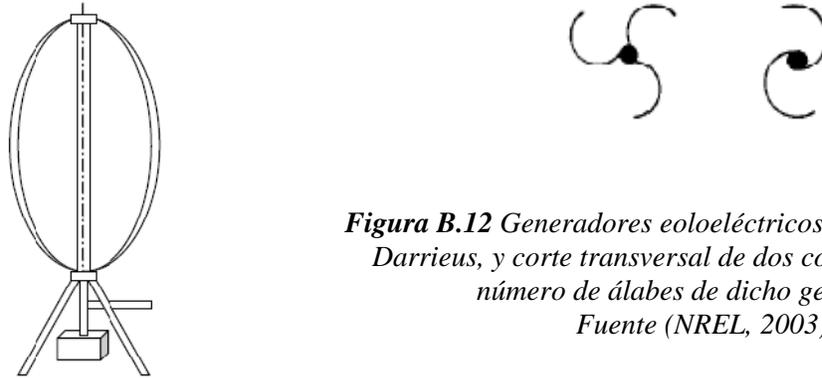


Figura B.12 Generadores eoloeléctricos de Eje Vertical tipo Darrieus, y corte transversal de dos configuraciones del número de álabes de dicho generador.
Fuente (NREL, 2003)

En los Estados Unidos, a partir de la crisis energética de 1973, los Laboratorios Nacionales Sandia iniciaron una importante fase de investigación y desarrollo para rotores Darrieus a través del programa de Programa Nacional de Energía Eólica, mediante el cual el Gobierno Federal de los Estados Unidos aportó 300,000 Dólares; para 1980 este presupuesto se había incrementado a 67 millones de dólares. Asimismo, en 1977 como parte de un programa de desarrollo tecnológico de la NASA entro en operación una unidad de 1.5 MW, y en Dinamarca entró en operación otro más de 2 MW con dos álabes y un costo aproximado de \$350,000 USD (Dodge, 2006).

Como se ha denotado en el presente trabajo, a lo largo de los últimos años se han dado grandes avances en el diseño estructural, diseño aerodinámico, materiales, tamaño, y métodos de fabricación que han llevado a la energía a su estado actual, el cual se describe en las secciones subsecuentes.

ANEXO C

México y el Protocolo de Kioto

C.1 Breve Descripción del Protocolo de Kioto

El protocolo de Kioto es un acuerdo firmado por 128 países, incluyendo a México⁹, que busca reducir la emisión de gases de efectos invernaderos causado, principalmente, por las emisiones antropógenas de Bióxido de Carbono (CO₂). Dentro de este documento se hace referencia a la meta de reducción de gases de efectos invernaderos en no menos del 5% para el periodo comprendido desde el 2008 al 2012. Para el año 2005 los acuerdos del Anexo firmado en el 1990, fueron presentados para demostrar el progreso de la reducción de la emisión de estos gases.

El Protocolo de Kioto está compuesto por 28 artículos; en estos se definen las políticas, mecanismos y acciones a seguir para la reducción de gases de efecto invernadero a escala global. En su Artículo 2 se hace referencia a las políticas de desarrollo de cada país, pero siempre tomando en cuenta las circunstancias especiales y dedicadas del mismo, para alcanzar las metas y objetivos del documento firmado. Entre las políticas que refuerzan la presentación de proyectos a partir de energías renovables, se pueden enlistar las tres siguientes:

iv) investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales;

v) reducción progresiva o eliminación gradual de las deficiencias del mercado, los incentivos fiscales, las exenciones tributarias y arancelarias y las subvenciones que sean contrarios al objetivo de la Convención en todos los sectores emisores de gases de efecto invernadero y aplicación de instrumentos de mercado;

vi) fomento de reformas apropiadas en los sectores pertinentes con el fin de promover unas políticas y medidas que limiten o reduzcan las emisiones de los gases de efecto invernadero no controlados por el protocolo de Montreal;

⁹ De acuerdo con las cifras reportadas por la IEA para el 2003, México ocupa el lugar 12 a nivel mundial en las emisiones de CO₂ por quema de combustibles fósiles, con un total de 374.25 millones de toneladas de CO₂ o el 1.5% de las emisiones globales. Fuente: Instituto Nacional de Ecología http://cambio_climatico.ine.gob.mx/.

Por otra parte, del capítulo 4 al 9 del documento, se hace referencia a la política de revisión del acuerdo contenido en el artículo 3. Estos son elementos importantes de esos capítulos, los cuales se citan a continuación:

Artículo 4

Se considerará que las Partes incluidas en el Anexo I que hayan llegado a un acuerdo para cumplir conjuntamente sus compromisos dimanantes del artículo 3 han dado cumplimiento a esos compromisos si la suma total de sus emisiones antropógenas agregadas, expresadas en dióxido de carbono equivalente, de los gases de efecto invernadero enumerados en el Anexo A no excede de las cantidades atribuidas a ellas, calculadas en función de los compromisos cuantificados de limitación y reducción de las emisiones consignados para ellas en el Anexo B y de conformidad con lo dispuesto en el artículo 3.

Artículo 5

Cada Parte incluida en el Anexo I establecerá, a más tardar un año antes del comienzo del primer período de compromiso, un sistema nacional que permita la estimación de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de todos los gases de efecto invernadero no controlados por el protocolo de Montreal.

Artículo 7

Cada una de las Partes incluidas en el Anexo I incorporará en su inventario anual de las emisiones antropógenas por las fuentes y de la absorción por los sumideros de los gases de efecto invernadero no controlados por el protocolo de Montreal.

Artículo 9

La Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente protocolo examinará periódicamente el presente protocolo a la luz de las informaciones y estudios científicos más exactos de que se disponga sobre el cambio climático y sus repercusiones y de la información técnica, social y económica pertinente.

Por otra parte, el Protocolo de Kioto determina que las partes que son países en desarrollo podrán obtener recursos financieros de las partes que son países desarrollados, ya sea por conductos bilaterales o regionales o por otros conductos multilaterales. La Convención

proporcionará recursos financieros nuevos y adicionales para cubrir la totalidad de los gastos convenidos en que incurran las partes que son países en desarrollo al llevar adelante el cumplimiento de los compromisos contraídos.

Es obvio, que mediante estos mecanismos financieros, se entiende que este protocolo puede beneficiar a países en desarrollo como México, por lo que es posible hacer uso de estos fondos, puesto que son sujetos de obtención de estos fondos internacionales, por lo que, México es un gran candidato para ser incluido en las listas de la Convención y ser considerado como Parte-País en desarrollo y recibir recursos financieros por parte de ésta, provenientes de los países industrializados para así contribuir a la reducción de los gases de efecto invernadero.

C.2 Comisión Intersecretarial de Cambio Climático del Gobierno de México

Esta Comisión, creada en 2005, funge como la autoridad mexicana ante la Convención Marco de las Naciones Unidas y es el principal vínculo en el país entre las entidades interesadas en desarrollar un proyecto, el Gobierno Federal, y la Convención Marco. Este Comité fue creado el 23 de enero de 2004, y opera como un grupo de trabajo dentro de las actividades de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. La Comisión cuenta con un Secretario Técnico a cargo de la Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental de la **SEMARNAT**. Adicionalmente, la Comisión está integrada por representantes de las siguientes dependencias: **Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Secretaría de Energía; Secretaría de Economía; Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural; Secretaría de Comunicaciones y Transportes; Secretaría de Desarrollo Social; y la Secretaría de Relaciones Exteriores.**

Su principal función es la de identificar oportunidades, facilitar y aprobar la realización de proyectos de reducción de emisiones y captura de gases de efecto invernadero en el territorio nacional para lo cual cuenta con el apoyo del Comité Mexicano para *Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero*, **COMEGEI**.

Por otra parte, como se define en el párrafo 3 del artículo 11 de la Conferencia de Partes, los mecanismos financieros obtenidos por las partes de países en desarrollo serán atribuidas por medio de conductos bilaterales o regionales o por conductos multilaterales. Esta aplicación le

da vigencia a lo contenido en el artículo 12 que es referente a los denominados Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDLs), que se explican en la siguiente sección.

C.3 Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDLs) del Protocolo de Kioto

La Conferencia de las Partes define en el artículo 12 del Protocolo de Kioto, que el propósito para un desarrollo limpio es apoyar a las partes no incluidas en el Anexo 1 a lograr un desarrollo sostenible y contribuir al objeto último de la Convención. Los mecanismos de desarrollo limpio indican que las partes no incluidas se beneficiaran de las actividades que tengan como objeto la reducción certificadas de las emisiones. El artículo también explica que el mecanismo estará sujeto a la autoridad y la dirección de la conferencia de partes y la supervisión de una junta ejecutiva que evaluará dichos mecanismos.

Asimismo, este artículo expresa que el mecanismo ayudará en los procesos de financiamiento de las actividades de los proyectos certificados. El párrafo 8 define lo siguiente: “La Conferencia de las Partes en calidad de reunión de las Partes en el presente Protocolo se asegurará de que una parte de los fondos procedentes de las actividades de proyectos certificadas se utilice para cubrir los gastos administrativos y ayudar a las Partes que son países en desarrollo particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático a hacer frente a los costos de la adaptación”.

Los MDLs se caracterizan por una inversión de países desarrollados en tecnologías de desarrollo limpio y sostenible. La misma opera como un Certificado de Reducción de Emisión de gases de efecto invernadero, que es presentado por el país desarrollado. La empresa o institución que desee hacer uso de dichos Mecanismos, deberá comunicar a la autoridad local y además obtener la aprobación por de un auditor climático y de la unidad de Cambio Climático de las Naciones Unidas, la cual también certificará el proyecto de inversión en esos países. Por su parte el país donde se desarrolla el proyecto también será responsable por la contabilidad y medida de la viabilidad y resultados del proyecto en la medida de reducción de emisión de gases. De acuerdo a las regulaciones cualquier país puede destinar el 6% y el 9% de su objetivo de reducción a proyectos de MDLs. Los MDLs permiten proyectos de reducción de emisión de los países del Anexo 1 y países en desarrollo.

El mecanismo funciona de la manera siguiente; el país A (contenido en el Anexo 1) hace una identificación, formulación e inversión del proyecto de desarrollo limpio. El país B (no

contenido en el Anexo 1, como es el caso de México) desarrolla la aprobación e implementación y le entrega un certificado de transferencia de reducción de emisión de gases al país A. Al mismo tiempo existen tres criterios que los proyectos de MDL deben cumplir:

- 1. Asistir entidades que no pertenecen al Anexo 1 en alcanzar el desarrollo sostenible y en contribuir al objetivo último de la Convención;*
- 2. Que sea real, cuantificable y que provea beneficios de largo plazo en relación con la mitigación del cambio climático; y*
- 3. Proveer reducción de emisiones que sean adicionales a las que se producirían en ausencia de la actividad del proyecto certificado.*

La adquisición de Certificados de Reducción de Emisiones será suplementaria a las medidas nacionales adoptadas a los efectos de cumplir los compromisos contraídos en virtud del artículo 3. El Mecanismo Financiero del Protocolo explica que las partes que son países desarrollados y las Partes que son países en desarrollo podrán obtener, recursos financieros por conductos bilaterales o regionales o por otros conductos multilaterales. La Convención Marco de las Naciones Unidas de Cambio Climático proporcionará recursos financieros nuevos y adicionales para cubrir la totalidad de los gastos convenidos en que incurran las Partes que son países en desarrollo al llevar adelante el cumplimiento de los compromisos de reducción.

Por lo anterior México como signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas de Cambio Climático y del Protocolo de Kioto, al no tener obligaciones cuantitativas de reducir sus emisiones, se puede beneficiar del MDL, vendiendo Certificados de Reducción de Emisiones a países del Anexo I y con esto desarrollar y aprovechar su potencial de energías renovables.

C.4 Proyectos MDL en México

De acuerdo a la información del COMEGEI, hasta a mediados de octubre de 2007, en México se contaba con una cartera de 178 proyectos MDLs, representando más de 10 millones de toneladas de reducción de CO₂, y los cuales se encuentran con diferentes niveles de aprobación de acuerdo al artículo 12 del Protocolo de Kioto. La **Tabla C.1** presenta el tipo de proyectos, el número total de los mismos, su ubicación y la reducción estimada de CO₂.

Tabla C.1 Proyectos Desarrollados en México mediante Mecanismos de Desarrollo Limpio.

Tipo de Proyectos	Número de Proyectos	Ubicación	Reducciones de CO₂ equivalente (Ton x10³/año)
<i>Manejo de residuos en granjas porcícolas</i>	88	Aguascalientes, Chihuahua, Chiapas, Coahuila, Durango, Estado de México, Guanajuato, Jalisco, Michoacán, Nuevo León, Nayarit, Puebla, Querétaro, Sinaloa, San Luis Potosí, Sonora, Oaxaca, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán.	2,507
<i>Manejo de residuos en establos de ganado vacuno</i>	54	Aguascalientes, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Durango, Jalisco, Nuevo León, Puebla, Querétaro, Sinaloa, Sonora, Tlaxcala	941
<i>Metano de rellenos sanitarios</i>	9	Aguascalientes, Chihuahua, Durango, Edo. México, Morelos, Jalisco	1,110
<i>Manejo de aguas residuales</i>	1	Sonora	10
<i>Energía eólica</i>	8	Baja California, Oaxaca	2,216
<i>Hidroeléctricos</i>	4	Guerrero, Jalisco, Michoacán, Oaxaca	161
<i>Incineración HFC-23</i>	1	Nuevo León	2,155
<i>Mitigación de N₂O en la industria química</i>	1	Veracruz	103
<i>Cogeneración y eficiencia energética</i>	9	Edo. México, Hidalgo, Michoacán, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Quintana Roo, Veracruz	703
<i>Emisiones fugitivas</i>	2	Coahuila, Veracruz	665
<i>Transporte</i>	1	Distrito Federal	24
TOTAL	178		10,595

Fuente: Instituto Nacional de Ecología, http://cambio_climatico.ine.gob.mx

ANEXO D

El Proceso de Migración de Avifauna y de Murciélagos

D.1 Migración de Avifauna

En cualquier sitio del mundo donde existan aves, existirá un proceso migratorio de alguna u otra forma. Las aves de regiones árticas lo hacen, lo mismo que aquellas de regiones tropicales. La migración forma parte de la vida de los animales y es caracterizado por movimientos geográficos, es un comportamiento resultado de una adaptación evolutiva en los procesos de selección natural de la naturaleza a través de millones de años (Kerlinger, 1995) Es propio también de otros grupos animales como los peces, las ballenas, varios insectos y los murciélagos.

Se llama migración a los movimientos poblacionales que realizan las aves, a veces a grandes distancias, de manera cíclica, generalmente coincidiendo con las estaciones del año o con la abundancia de algún tipo de recurso alimenticio¹⁰. Estos movimientos se realizan partiendo de un área de reproducción y llegando a un área cálida donde pasan el invierno. La migración es un comportamiento altamente especializado, caracterizado por el movimiento persistente y absoluto efectuado por el trabajo locomotor de un animal, que lo lleva fuera de su hábitat original a otro nuevo, con la finalidad de asegurar la reproducción en el lugar y tiempo adecuados, mediante la explotación de los diferentes hábitat estacionales por sus diferentes estados de desarrollo embrionario (Kennedy, 1985).

En general, son desplazamientos de un área de reproducción a un área cálida donde pasarán el periodo invernal. Se ha calculado que alrededor de 200 especies de aves son migratorias en Norteamérica. También se conoce que hay mayor proporción de especies migratorias en Canadá que en Estados Unidos, y aún menor proporción en México (Dorst, 1962; Navarro y Benítez, 1995). Cerca de un tercio de las especies de aves registradas en México son catalogadas como migratorias. Sus áreas de reproducción se encuentran en Norteamérica (Alaska, Canadá y Estados Unidos) y pasan los periodos otoñales e invernales en el territorio de México. Su paso por nuestro país se inicia a finales de agosto y principios de septiembre,

¹⁰ Se tiende a pensar que la migración es ocasionada por las condiciones climáticas adversas, sin embargo esto es cierto parcialmente, pues existen aves que resisten dichas condiciones, y lo que en ocasiones les motiva a migrar es la escasez de alimento en el sitio.

prolongándose la llegada hasta noviembre. El vuelo de regreso a sus áreas de anidación lo efectúan de marzo a mayo (DeGraaf, y Rappole, 1995; Navarro y Benítez, 1995).

Las aves que se desplazan de Estados Unidos y Canadá invernan generalmente en México y América Central y llegan a su destino siguiendo las siguientes rutas migratorias: las del Pacífico utilizan la costa o el mar abierto, las del Este siguen la cuenca del río Mississippi, la central y la del Atlántico. Dos terceras partes de las aves se desplazan durante la noche y vuelan tan alto que es difícil percibirlas a simple vista (Eymlen, 1975; Dingle, 1995; Navarro y Benítez, 1995); por lo regular, son grupos cautelosos y variados en tamaños (avetoros, rascones, cuclillos, chipes, reyezuelos, cuitlacoques, tángaras, gorriones y vireos). De día vuelan aves muy fuertes (garzas, patos, gansos, halcones, palomas, golondrinas, vencejos, gorriones); otras especies pueden volar tanto de día como de noche (Gurrola, 2009). Las principales rutas migratorias en América se presentan en la **Figura D.1**.

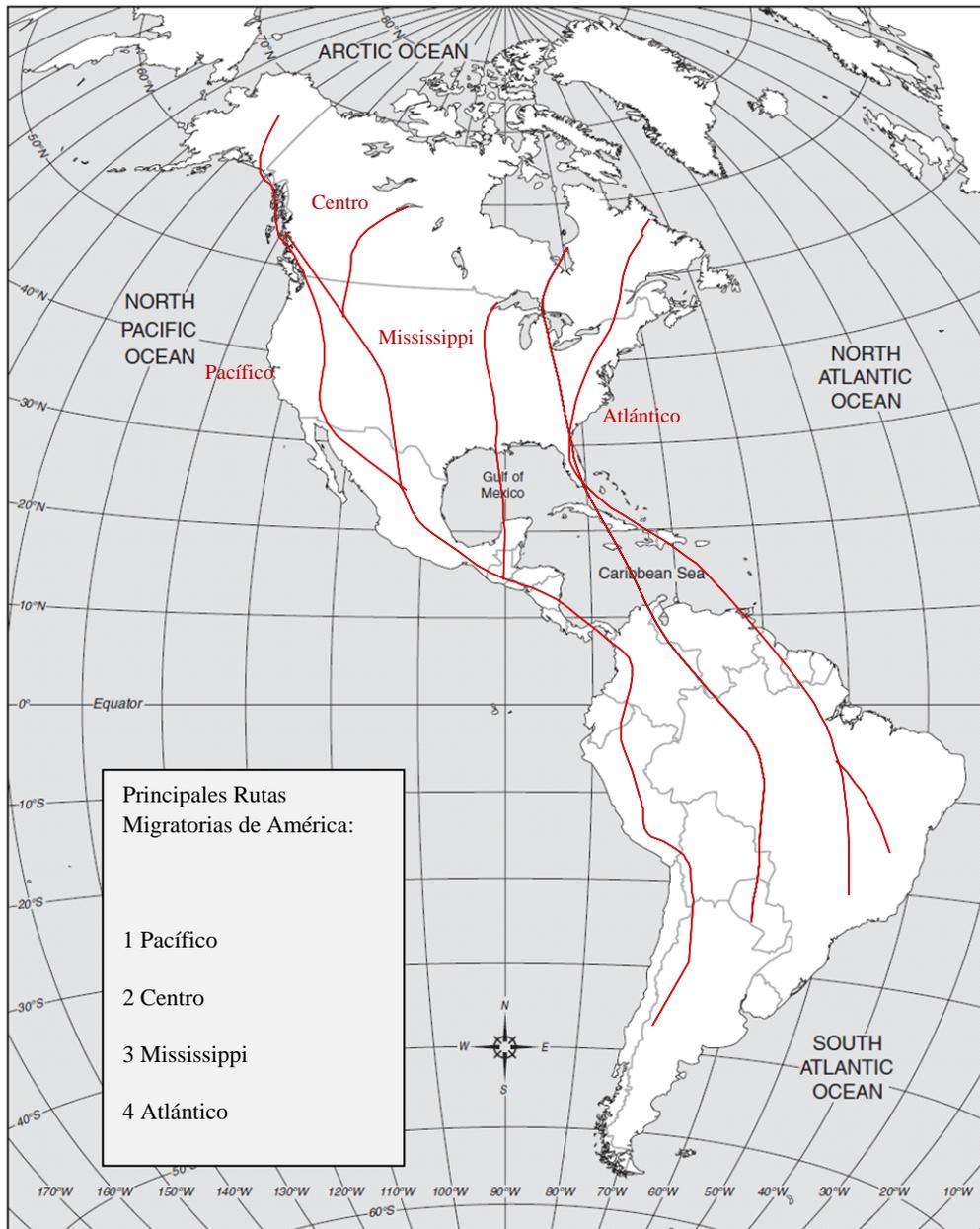


Figura D.13 Principales Rutas Migratoria en América.

Fuente: Gurrola, 2009.

D.2 Características de la Migración de la Avifauna

La época de la migración se halla muy bien establecida dentro del año y generalmente está acoplada a ritmos fisiológicos internos, induciendo a los individuos a un estado de hiperactividad e intranquilidad en donde los individuos duermen poco por las noches y empiezan a comer en exceso para acumular grasa en sus músculos pectorales, el dorso, las axilas y el abdomen, la cual es el combustible necesario para realizar sus largos viajes. Entre septiembre y abril de cada año es frecuente observar diferentes especies de aves que llegan o

pasan por territorio mexicano. Por lo general, las aves sufren cambios fisiológicos en relación con la duración de los días, la presencia de algunas variaciones del ambiente, como las lluvias o los vientos estacionales y, de manera indirecta, con la terminación del ciclo reproductivo.

En cuanto a las rutas migratorias, en ocasiones las aves cruzan grandes extensiones de agua y por lo tanto las aves, por lo regular de mayor tamaño, no se detienen a alimentarse hasta que llegan a su destino, y es reconocido el hecho que durante el viaje pierden a veces hasta la mitad de su peso. Las aves pequeñas pueden hacer varias paradas para descansar y alimentarse, y posteriormente proseguir su viaje. Una gran cantidad de especies se concentran en presas, lagunas, humedales, playas, estuarios y cerca del mar (patos, halcones, aguillillas, playeros, costureros, chorlitos, falaropos, zarapitos, vuelvepiedras); otros grupos prefieren bosques y selvas (colibríes, rapaces, búhos, golondrinas, cazamoscas, hojarasqueros, vireos y chipes).

Las aves que van al Sur o regresan al Norte establecen direcciones muy precisas y pueden seguir marcas o guías características, como la posición de las estrellas, el sol, las cadenas montañosas, ríos, valles, costas, las luces nocturnas de las ciudades. Recientemente se ha comprobado que las aves son capaces de detectar los campos magnéticos terrestres y probablemente las radiaciones térmicas, los efectos de la rotación de la Tierra y los olores. Los tiempos de partida y llegada de las poblaciones migratorias solamente varían unos cuantos días de un año a otro (Keast y Morton, 1980; Berthold, 2001; Dingle, 1995).

La proporción poblacional de la avifauna que migra es imposible de estimar; sin embargo, el conjunto de observaciones mundiales de casi un siglo ha señalado cifras relativas de dos a tres billones de aves que pasan el verano en Norteamérica y se concentran en otoño e invierno en Latinoamérica y el Caribe (Gurrola, 2004).

La altura a la que las aves migratorias vuelan varía desde por lo general desde los 100 metros hasta los 1,500 m. Sin embargo algunas especies vuelan a nivel del mar como es el caso de algunos figurines gansos y patos (Berthold, 2001; Navarro y Benítez, 1995). y por el contrario algunas más alcanzan alturas de 10,000 m, como el ánsar indio (*Anser indicus*) que es capaz de sobrevivir a dichas alturas con un ambiente prácticamente sin oxígeno y es reconocido por ser capaz de cruzar los Himalaya. El record de altura de vuelo lo ostenta el buitre moteado

(*Gyps rueppellii*) que en una ocasión fue absorbido por la turbina de un avión comercial sobre Costa de Marfil a una altura de 11,300 m (Berthold, 2001).

Sin embargo, el vuelo a grandes alturas no es únicamente característico de vuelos sobre montañas, sino también durante migraciones transoceánicas. Algunas aves migratorias de Norteamérica cruzan el Mar Caribe a alturas de 6,000 m. En lo que respecta a zonas desérticas hay muy pocas evidencias de las alturas de vuelo características, y los pocos estudios conducidos en dichas áreas han mostrado alturas de vuelo en el rango de los 200 hasta los 7,000 m.

A pesar de las grandes variaciones en las alturas de vuelo de las aves migratorias y el relativo poco conocimiento de las migraciones algunos hechos ya han sido determinados con veracidad. Las aves migrantes nocturnas vuelan a mucha mayor altitud que las diurnas. (Berthold, 2001). Con viento en dirección a favor de su vuelo, las aves tienden a volar a mayores alturas, y por el contrario con viento el viento en dirección contraria a su vuelo, tienden a disminuir su altura donde los vientos tienen menor velocidad (Elphick, 2007). Adicionalmente, de acuerdo a los estudios realizados por el Grupo de Protección de las aves Rapaces (2009), se ha calculado por radar que el 50 % de las aves pasan por debajo de los 1,000 metros de altitud respecto al nivel medio del mar, el 30 % entre los 1,000 y 2,000 metros, el 15 % de 2,000 a 3,000 m. y el 5 % de 3,000 a 4,000 m., y como ya se ha mencionado, se han detectado aves a mayor altura.

Las aves que vuelan a mayor velocidad prefieren mayores alturas y por el contrario las más lentas buscan alturas menores. En el caso de grandes llanuras y planicies, las aves tienden a volar a mayor altura, lo que les ayuda a sortear montañas de regular altura, aunque en ocasiones hacen uso de pasos montañosos, para sortear dichos obstáculos. Así en general, es posible que las aves busquen mediante vuelos exploratorios las mejores condiciones de vuelo, determinadas por las condiciones atmosféricas, tales como: viento, temperatura, humedad, etc. (Berthold, 2001).

D.3 Migración de Murciélagos

Existen cerca de 1,100 especies de murciélagos que migran en el mundo; de las cuales se considera que 22% se encuentran amenazadas y 25% se consideran sujetas a protección especial (Mickleburgh et al., 1992; Milton-Taylor, 2000; Hutson et al., 2001). Cerca de 75%

de especies de murciélagos migratorios se alimentan de insectos y 25% se alimenta principalmente en frutos, flores, pequeños vertebrados como pescados y otros murciélagos, y tres especies de Centro y Sudamérica se alimentan de sangre. Es probable que muchas especies de murciélagos emprendan movimientos estacionales regulares o migraciones; sin embargo, la escala y el grado de tales movimientos es en gran parte desconocido (Fleming y Eby, en prensa).

La migración de murciélagos en latitudes templadas no siempre es un desplazamiento para alejarse de las temperaturas frías del norte hacia localidades más cálidas en el sur. Frecuentemente, se trata de un viaje corto en cualquier dirección para alcanzar un sitio más conveniente para su hibernación, como puede ser una cueva o una mina. Tan sólo cuatro de las 18 especies de murciélagos que habitan en zonas templadas parecen realizar migraciones de larga distancia entre Canadá, Estados Unidos y México: el murciélago cola peluda rojizo, el murciélago cola peluda de blosseuili, el murciélago cola peluda canoso y el murciélago plateado. Otras 10 de las 18 especies se encuentran presentes en los tres países, pero si bien esos murciélagos cruzan fronteras internacionales, no se sabe con certeza si emigran volando las largas distancias entre Canadá y México. (INE, 2006). Los murciélagos desempeñan un papel importante en la polinización y la dispersión de las semillas de plantas. La **Tabla D.1** contiene un listado de algunas especies de murciélagos migratorios en el continente americano.

Tabla D.1 Especies de Murciélagos Migratorios en América.

<i>Especie</i>	<i>Referencia</i>
<i>Leptonycteris curasoae</i>	<i>Rojas-Martínez et al. 1999</i>
<i>Leptonycteris nivalis</i>	<i>Hensley y Wilkins, 1988</i>
<i>Choeronycteris mexicana</i>	<i>Arroyo-Cabrales et al., 1987</i>
<i>Pteronotus dhabi</i>	<i>Ceballos et al., 1997</i>
<i>Pteronotus parnellii</i>	<i>Ceballos et al., 1997</i>
<i>Mormoops megalophylla</i>	<i>Ceballos et al., 1997; Sánchez y Cadena, 1999</i>
<i>Desmodus rotundus</i>	<i>Trajano, 1996</i>
<i>Lasiurus borealis</i>	<i>Findley y Jones, 1964; Barclay 1984</i>
<i>Lasiurus cinereus</i> .	<i>Findley y Jones, 1964; Barclay 1984</i>
<i>Lasionycteris noctivagans</i>	<i>Van Gelder y Wingate, 1961; Myers y Wetzel 1983; Johnson et al., 1992; Arita y Ortega, 1998</i>
<i>Tadarida brasiliensis</i>	<i>LaVal, 1973; Williams, 1989; Hutson et al., 2001</i>

Fuente: Instituto Nacional de Ecología

Las clasificaciones para la migración de murciélagos son complicadas por varios factores: la migración se puede pronunciar más en un sexo que en el otro (generalmente femenino; e.g. *Nyctalus noctula*, *Pipistrellus nathusii*, *Miniopterus schreibersii*, *Leptonycteris* spp., *Tadarida*); solamente ciertas poblaciones de una especie pueden emigrar. Asimismo, la ruta y la distancia cubiertas en la migración pueden variar, dependiendo del patrón de floración y fructificación entre los años: 500 kilómetros, (Davis et. al. 1962); 35 kilómetros (Cockrum, 1962); 70 kilómetros, (Cockrum 1969); 150 kilómetros (LaVal, 1973); 50 km/día (Glass, 1982); 1500 kilómetros, (Ceballos et al., 1997).

Las razones de la migración también varían (Strelkov, 1969, 1997a, 1997b; Fleming y Eby, en prensa). Las migraciones para los murciélagos son generalmente entre los sitios calientes convenientes para el embarazo (e.g., algunas poblaciones *Tadarida brasiliensis*), para la lactancia y para el suministro de alimento adecuado en el verano (e.g. *Leptonycteris* spp, *Choeronycteris mexicana*), y a sitios frescos para la hibernación en invierno (*Lasiurus cinereus*). Algunas especies se concentran en colonias grandes, especialmente en cuevas, particularmente para el nacimiento y para consolidar a los jóvenes.

D.4 Migración de Avifauna en México

En México a pesar de ser un país que por sus características geográficas se encuentra en las rutas migratorias de las aves, cabe mencionar el hecho que de las 800 especies de aves que habitan y crían en nuestro país, 440 de éstas presentan poca o ninguna tendencia migratoria. Así que a lo largo de su vida

dichas especies no se mueven más allá de unos kilómetros de su lugar de nacimiento. Por otra parte, existen alrededor de 225 especies de tendencias de migración de larga distancia, por lo que México hospeda a la mayor cantidad de avifauna migratoria que cualquier otro país en el mundo, lo cual es ocasionado principalmente por encontrarse en una región tropical, la cual ofrece las condiciones adecuadas para suministrar alimento durante las épocas invernales a la avifauna, así como por la proximidad de nuestro país con las regiones boreales de nuestro continente, donde existe la mayoría de especies migratorias del mundo (Howell et, al., 1995).

Por otra parte el hábitat donde la avifauna tiende a invernar es muy variado; es posible encontrarla en ambientes montañosos, altiplanicies, dunas, desiertos, bosques bajos, marismas, pantanos, campos de cultivo, plantaciones y pastizales, bosque tropical deciduo, tropical de tierras bajas, tropical de montaña húmedo, tropical de tierras altas, tropical subcaducifolio, seco de tierras bajas, húmedo de tierras bajas, encino, pino, amazonia y de montaña.

Desgraciadamente, alrededor de un 50% de las aves que emigran y visitan nuestro país, no regresan a sus sitios originales de anidación en el norte. Esto es ocasionado por el crecimiento de la población humana, la pérdida y alteración de hábitats, la contaminación ambiental y el gradual calentamiento del planeta. Actualmente, gran cantidad de especies de avifauna migrante no dispone de un hábitat adecuado, pues la mayor parte de los bosques, las selvas y los pantanos de México, se han transformado en zonas urbanas y semiurbanas, en tierras para explotación agrícola, pastizales para la crianza de ganado o en algunos casos la erosión ha incrementado las zonas áridas. Además de estos factores, la depredación son algunas causas naturales de mortalidad; sin embargo, desde hace 20 o 30 años los especialistas comenzaron a observar una declinación en el número y concentración de la avifauna en general (Gurrola, 2009).

Como un esfuerzo para estudiar la migración de avifauna en México, se han emplazado estaciones de monitoreo de avifauna migratoria, básicamente por el Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM. Estas estaciones son conocidas como *MoSi* (Monitoreo de Sobrevivencia Invernal) y en ellas se obtiene información sobre su biología y el uso que hacen de su hábitat, además se les coloca un anillo de aluminio numerado y son liberadas sin ocasionarles daño alguno. La información recolectada se encuentra disponible a través del Instituto de Biología de la UNAM (Gurrola, 2009).

D.4.1 Río de Rapaces, Veracruz, México

En el estado de Veracruz han sido reconocidas 84 familias de aves, las cuales abarcan aproximadamente 730 especies y de los cuales 30 son endémicas. Esto representa casi el 69% de todas las aves que se encuentran en el territorio de México. Por lo anterior, el estado de Veracruz, y en particular la costa del Golfo de México, ha ganado fama como el sitio con la ruta migratoria de mayor

concentración de aves rapaces en el mundo. Muchas especies de aves acuáticas y terrestres cruzan sobre el litoral para llegar a las áreas de hibernación, pero las aves rapaces prefieren migrar sobre extensiones de tierra firme. Por la planicie costera del Golfo, siguiendo el litoral de Tamaulipas, Veracruz y parte de Tabasco, las aves se van separando hasta llegar al Istmo de Tehuantepec, donde algunas aún continúan hacia las selvas del sureste. Otras más cruzan hacia la planicie del océano Pacífico y continúan por la región costera de Chiapas (Revista México Desconocido, 2009).

Este fenómeno es conocido a nivel internacional como el “Río de Rapaces”. Cabe mencionar que este sitio tiene el record mundial de avistamiento de aves es un sólo día, pues el 17 de octubre 2003, personal de la organización civil PRO-NATURA registró 1.5 Millones de aves rapaces volando en Cardel, Veracruz. Por naturaleza, la mayoría de las aves rapaces sólo se reúnen en grupos para la migración.

Con la llegada del otoño, entre cuatro a seis millones de aves rapaces migran a través del estado de Veracruz, para llegar hacia puntos lejanos en Centroamérica y Sudamérica. Con el regreso de la primavera la migración se repite, volando hacia el norte, a sus áreas de anidación. Debido a la geografía de la región, todas las rutas migratorias de aves rapaces de Norteamérica convergen en el sitio, lo cual proporciona un espectáculo no visto en ningún otro sitio del planeta (Larson, 2003).

La cantidad de aves rapaces que sobrevuelan los litorales del Golfo de México es impresionante; por ella migran hasta 2 Millones de gavilanes alas anchas 1 Millón de halcones swainsoni y más 200,000 gavilanes grisillos, lo que representa, casi toda la población mundial de estas tres especies. Además, más de 1.5 Millones de zopilotes aura, al igual que otros miles de aves rapaces, aves acuáticas y aves cantoras también sobrevuelan la región (Larson, 2003).

Las aves rapaces no son las únicas en hacer uso de esta ruta migratoria; libélulas, golondrinas, colibríes, chipes, mosqueros, calandrias, patos, cormoranes, aningas, galambaos, y cigüeñas también utilizan esta ruta. Diversas organizaciones protectoras de aves rapaces han desarrollado actividades para su protección, incluyendo algunas observaciones del comportamiento de las aves y censos las mismas; existe, además, un programa de educación ambiental, dirigido a niños, maestros, campesinos y cazadores.



Figura D.2 Punto de Observación del Río de Rapaces en Cardel, Veracruz.
Fuente: Hawk Watch, 2009.

ANEXO E

Postura Oficial de Algunas Organizaciones Protectoras de Avifauna y Murciélagos

E.1 BirdLife International

La organización *BirdLife International* en un documento denominado “*Position Statement on Wind Farms and Birds*”, ha emitido su postura oficial respecto a la instalación de centrales eoloelectricas, en la que dicha organización declara que es una postura válida para los miembros de la Unión Europea o para todos los países signatarios de la Convención de Berna. Sin embargo, esta organización ha invitado a sus socios en los países respectivos, fuera de la Unión Europea, a que adopten esta posición.

Dicha organización reconoce que el cambio climático es una amenaza muy seria para la humanidad y en general para la biodiversidad global, así como, que la energía renovable puede ofrecer una contribución importante para combatir los cambios ambientales ocasionados por dicho fenómeno y para reducir el consumo mundial de combustibles fósiles, reduciendo por lo tanto, las dañinas emisiones de gases de efecto invernadero. Este organismo menciona que la energía eólica es la tecnología más avanzada en cuanto a energía renovable se refiere y que su uso se está incrementado en forma considerable alrededor del mundo. Sin embargo, reconoce que la energía eólica, como cualquier otra fuente de energía, presenta impactos ambientales, por lo que existe la necesidad de poner en una balanza los riesgos y las ventajas, así como reducir al mínimo cualquier impacto ambiental adverso que se pudiera presentar.

Esta organización ha expresado que los generadores eólicos colocados adecuadamente tienen un efecto negativo reducido en las aves y murciélagos; sin embargo, mal colocados pueden causar problemas severos a las poblaciones de aves y murciélagos debido a la colisión con las turbinas y la subsiguiente fatalidad de los individuos involucrados, como se ha observado en algunas centrales eoloelectricas. Varias organizaciones internacionales han demostrado que un aerogenerador mal colocado es aquél que está en sitios por donde vuelan y transitan aves y murciélagos de características migratorias; sitios en donde estos grupos se congregan debido a cuestiones abióticas o bióticas y sitios donde existen especies con algún status de protección o bajo riesgo (Kingsley y Whittam, 2003; Langston y Pullan, 2004).

Dentro de este mismo contexto, el Consejo Europeo, en representación de la Convención de Berna, comisionó a **BirdLife** Internacional para realizar el estudio “Effects of wind farms on birds”, el cual contiene recomendaciones para la apropiada selección de sitios. En este documento, **BirdLife** Internacional reconoce los impactos de la energía eólica, tales como colisiones con aerogeneradores, así como la pérdida y afectación de hábitat durante la construcción y la operación de la central eoloeléctrica. También reconoce que la selección de sitios para la instalación de centrales eoloeléctricas es un aspecto muy importante a considerar. Se hace hincapié en que las centrales eoloeléctricas se deben localizar, diseñar y operar de tal modo que no haya impactos adversos significativos en las aves, y sobre todo aquellas con algún status de protección, ya sea en el ámbito nacional de un país o en el internacional (Langston y Pullan, 2004).

Por lo anterior, en el documento, también, se recomienda que no deben instalarse centrales eoloeléctricas en zonas o áreas protegidas y aquellas consideradas como Áreas Importantes para las Aves; en zonas de conservación ecológica; en aquellos sitios a lo largo de las rutas migratorias y en especial donde puedan ocurrir las aglomeraciones y concentraciones de especies, tales como pasos de montañas y finalmente sitios críticos donde sean detectados altos riesgos de colisión de las aves. Además se determina que una opción para instalar centrales eoloeléctricas y mitigar su impacto en las colisiones aviares es hacer uso de zonas que ya se encuentren modificadas por actividades humanas, tales como agricultura, ganadería y en su caso zonas eriales (Langston y Pullan, 2004).

E.2 The Peregrine Fund

La organización denominada ***The Peregrine Fund*** establecida en 1970, tiene como misión, desarrollar acciones de conservación de aves de presa o rapaces, tanto a en el ámbito de los Estados Unidos como en el internacional, por lo que también ha emitido su opinión respecto al emplazamiento de centrales eoloeléctricas (The Peregrine Fund, 2003). Esta organización considera que la energía eólica ofrece ventajas ambientales, pues se puede obtener electricidad limpia sin la generación de gases de efecto invernadero y que además no tiene ningún impacto negativo sobre los ríos, aunque sí reconoce que el único impacto ambiental posible es la colisión de aves con los aerogeneradores. Sin embargo, consideran que disminuir el tamaño de las centrales y hacer un espaciado adecuado entre los aerogeneradores, son medidas eficaces para mitigar este impacto. Asimismo, consideran que con el paso del tiempo la reducción de

fatalidades en centrales eoloelectricas será menor, obteniendo más energía limpia. Actualmente, de acuerdo con esta organización, la tendencia para mitigar estos impactos es una cuidadosa selección de los sitios donde se construyen estas centrales. Afirma que la investigación y los nuevos conocimientos serán también dos aspectos muy importantes para mitigar este impacto ambiental, y que se espera que no se repitan los errores anteriores de colocar centrales eoloelectricas en sitios con altas poblaciones de aves rapaces, como fue el caso de Altamont, California.

En **Peregrine Fund** han considerado que, como biólogos de la conservación, deben poner mayor atención al bienestar general de las especies, más que solamente al de individuos, aun cuando la comprensión de la dinámica general de la población se basa en el conocimiento y preservación de sus individuos. Asimismo, consideran que existen otras circunstancias por las que aves rapaces mueren por colisión; como por ejemplo, vehículos en carreteras, ventanas y cableados eléctricos, por mencionar algunos pocos. Estas circunstancias ocasionan miles de fatalidades de aves rapaces en los Estados Unidos cada año, pero consideran que en general, las poblaciones de estas aves en los Estados Unidos se encuentran en buena condición.

E.3 Centro para la Diversidad Biológica de los Estados Unidos

Esta organización que tiene como lema “Proteger especies en peligro y la naturaleza mediante la ciencia, la política, y la ley” se encuentra localizada en el Bosque Nacional del Gila en Nuevo México, ha sido una de las organizaciones que más ha luchado por proteger a las aves rapaces en los Estados Unidos. Esta organización ha emitido su opinión acerca de la relación que guarda la energía eólica con respecto a la avifauna. Como primer punto ellos consideran que el uso de la energía eólica es esencial para reducir el impacto sobre el medio ambiente, pues consideran que la sociedad actual con su adicción a los combustibles fósiles está causando un cambio climático irreversible, alterando ecosistemas y causando la destrucción de la biodiversidad. Así que la energía eólica es una alternativa viable y preferible a las centrales eléctricas de combustible fósil. Además, de evitar las externalidades ocasionadas por la extracción de petróleo, gas y carbón.

Sin embargo, también reconocen que los emplazamientos mal planeados, tal como lo sucedido en Altamont Pass tiene un impacto ambiental considerable, al causar miles de fatalidades de avifauna, tanto por colisión con las turbinas, como por electrocución en las líneas de transmisión de energía. Este emplazamiento eólico se encuentra situado en el peor sitio para la

avifauna, pues se encuentra sobre una importante ruta migratoria en una zona con gran concentración de aves, provocando muertes masivas de aves rapaces, como: halcones, búhos, águilas cabeza blanca y otras especies con cierta categoría de protección biológica dentro del Tratado de Protección de Aves Migratorias.

El problema suscitado en Altamont Pass no es una cuestión de enfrentamiento entre la protección a las aves y el desarrollo de la energía eólica, es más bien la deposición de la industria eólica a tomar acciones para proteger a las aves y es por eso que deben llevarse a cabo las acciones y recomendaciones realizadas por el la Comisión de Energía del estado de California. Así que la protección a las aves no se encuentra en contra del aprovechamiento de la energía eólica, ambas posturas pueden subsistir, siempre y cuando se tenga conciencia del daño que puede ser causado a las aves, haciendo uso de técnicas para la prospección en la abundancia de aves, sus rutas migratorias, y así lograr que la planeación adecuada de las centrales eoloeléctricas permita minimizar las fatalidades tanto de avifauna como de murciélagos.

E.4 Bat and Wind Energy Cooperative

El “**Bat and Wind Energy Cooperative, BWEC**” es un grupo creado en el 2003 y conformado por agencias gubernamentales, tanto estatales como federales, la industria privada, instituciones académicas y organizaciones no gubernamentales¹¹, que trabajan conjuntamente para encontrar soluciones y reducir al mínimo o en su caso evitar totalmente las fatalidades de murciélagos al impactarse don las turbinas eoloeléctricas.

Esta organización reconoce los impactos negativos ocasionados por el cambio climático y los impactos ambientales de la utilización de combustibles fósiles; así que la energía eólica se ha convertido en un actor cada vez más importante del sector energético a escala mundial; pues la electricidad generada a partir de esta fuente y amigable con el medio ambiente. Sin embargo, los impactos locales de instalaciones eoloeléctricas ocasionados en la vida silvestre pueden convertirse en un problema muy serio pues se han reportado casos de fatalidades de avifauna y murciélagos. Para el caso de murciélagos se han reportado algunos casos severos de fatalidades en algunas centrales eoloeléctricas emplazadas en ciertas regiones del Este de los

¹¹ Incluyendo a la organización: Bat Conservation International (Asociación Internacional para la Conservación de Murciélagos).

Estados Unidos, lo que sin duda ha aumentado la urgencia de entender que los está causando y encontrar soluciones a los mismas.

En conclusión, se puede decir que tanto **BirdLife International**, la **Peregrine Fund**, el **Centro para la Diversidad Biológica de los Estados Unidos** y la **Bat and Wind Energy Cooperative** reconocen las ventajas ambientales de la generación eoloeléctrica sin dejar de tomar en cuenta sus posibles impactos sobre la avifauna y que evaluando ambos aspectos, concluyen que la energía eólica tiene menor impacto ambiental que otras fuentes de energía siempre y cuando las centrales eoloeléctricas sean instaladas correctamente y la selección de sitios se haga con responsabilidad y tomando en cuenta los criterios de protección al ambiente que permitan la protección de aves tanto residentes como migratorias. Una de las recomendaciones de estas instituciones para mitigar las colisiones de aves, y que ya fue mencionada, es la de espaciar adecuadamente los aerogeneradores para permitir el libre tránsito de las aves, lo cual confirma lo anteriormente expresado en el presente documento. Así es como estas organizaciones apoyan el emplazamiento de centrales eoloeléctricas, que de acuerdo a ambas posiciones, es una fuente de generación de energía limpia.

ANEXO F

Tecnologías de Medición y Estimación de avifauna

La información básica que debe ser recolectada y tomada en cuenta para seleccionar áreas o sitios específicos para el posible emplazamiento de una instalación eoloeléctrica, con relación a su posible impacto sobre la avifauna y murciélagos es la siguiente:

- Especies y clasificación de la avifauna y murciélagos;
- Rutas de migración;
- Períodos de migración;
- Patrones de vuelo;
- Presencia ocasional o permanente en las áreas en consideración;
- Preferencia de sitios específicos;
- Factores ambientales (bióticos o abióticos) que pueden ocasionar la preferencia de sitios específicos.

Es reconocido el hecho que dos terceras partes de avifauna y la gran mayoría de especies de murciélagos son de hábitos migratorios nocturnos; por lo anterior las estimaciones y análisis para estimar el número y tipo de especies tanto de aves como de murciélagos son diseñadas para ser implementadas durante la noche. Las técnicas de análisis incluyen las siguientes:

- Equipos térmicos de proyección de imagen infrarroja;
- Radares verticales;
- Radares tipo marino de alta resolución;
- Radares de efecto Doppler;
- Sistemas de supervisión acústica;
- Sistemas de información geográfica; y
- Sistemas de posicionamiento global.

Cada una de estas técnicas representa sus ventajas y desventajas; los radares tipo marino de alta resolución parecen representar la mejor técnica, pues con esta técnica se puede determinar

el número de aves y murciélagos, su altura y dirección de vuelo, así como las frecuencias de paso. Por otra parte su principal desventaja es su incapacidad para diferenciar entre aves y murciélagos, por lo que, es recomendable utilizar esta técnica en conjunto con cualquier otra técnica visual o acústica, con objeto de lograr la correcta identificación de las diferentes especies (Mourelle y Barro, 2004).

F1. Métodos de recopilación de información

Para recopilar esta información existen los métodos tradicionales de observación ornitológica, los cuales son descritos a continuación.

F.1.1 Método de transectos lineales

Los transectos, son secciones tomadas a través del sitio de estudio, en una dirección predeterminada. En un principio fueron empleados para el análisis de sistemas agrícolas, para explorar diferencias de espacio o de uso de tierras, a través del análisis de todos los suelos productivos y los recursos locales posibles. El transecto se lleva a cabo para identificar las principales características, recursos, usos, y problemas de la zona a analizar.

Este método es considerado como el método más adecuado para obtener información sobre la actividad de las aves en el sitio donde se propone el emplazamiento de la central eoloeléctrica. Los transectos consisten en recorridos elegidos y estandarizados metodológicamente, regularmente, con frecuencia más o menos mensuales, y con una longitud determinada, en los que se obtienen registros numéricos de aves que permiten establecer cifras de densidades relativas de aves en el área de estudio, lo cual permite realizar estimaciones estadísticas del uso de la avifauna en dicha área. Estos transectos deben situarse en las áreas con hábitats más representativos del territorio de estudio con una visita mensual por cada uno de ellos, durante 2 años, con lo cual se obtendrán 2 series de 24 censos, los cuales serán analizados mediante herramientas estadísticas y se podrá obtener información estandarizada sobre la presencia y variaciones numéricas de distintas especies y detectar diferencias o similitudes significativas en la actividad de la avifauna o murciélagos en el área de estudio a lo largo de los dos años y una vez que se cuenta con dicha información será posible la analizar y determinar las causas de dicha variabilidad y su relación con la presencia de los aerogeneradores, o en su caso, si esta variación es ocasionada por cambios ambientales o factores externos a la central eoloeléctrica (Mourelle y Barro, 2004).

F.1.2 Método de censo

Este método permite desarrollar la atención del observador sobre las especies objetivo, pero a diferencia del de transectos, el observador se encuentra en un punto fijo. El principal inconveniente en espacios abiertos es que no son certeras para el establecimiento de las densidades relativas, ya que el efecto de perturbación del observador es alto, lo cual queda resuelto con los transectos mencionados anteriormente.

Para determinar los puntos de observación, el plano del área de estudio se divide en cuadrículas de cierta longitud, para formar un sistema coordinado de referencia, las cuales se toman como base para la localización de aves y utilización del área, así como para determinar las cuadrículas hacia las que se desplaza o de aquella de las que procede.

Con este método es posible determinar la tasa de utilización de las aves, el observador se sitúa en el punto de observación elegido, documentando la hora de inicio, para posteriormente dejar pasar un periodo de tiempo suficiente para permitir que las aves se acostumbren a su presencia; cuando esto sucede, da inicio el período de observación por cierto tiempo predeterminado, durante el cual el observador documenta toda la actividad de la avifauna o de murciélagos en un radio completo (Anderson, 1995).

Para la estimación de la altura del vuelo, se considerarán diferentes rangos en función aproximada del tamaño de los aerogeneradores que se instalarán de acuerdo al siguiente criterio mostrado en la **Tabla F.1**.

Tabla F.1 Criterios de rango de altura para observación ornitológica.

Rango de altura	Criterio
<i>A nivel de suelo</i>	<i>Incluye todas las aves sobre el piso, algún matorral o vuelo rasante</i>
<i>Rango de la torre</i>	<i>Incluye el tramo de la torre sin incluir el área de barrido del aerogenerador</i>
<i>Área de barrido del aerogenerador</i>	<i>Incluye el rango de altura donde el rotor tiene influencia</i>
<i>Por encima del área de barrido del aerogenerador</i>	<i>Incluye todo el espacio por encima del área de barrido del aerogenerador</i>

Fuente: Mourelle y Barro (2004).

F.1.3 Método de Puntos de conteo

El objetivo de estos puntos de conteo o de control, es obtener datos sobre la movilidad de la avifauna entre varias centrales eoloeléctricas próximas, para determinar los efectos de perturbación o acumulativos de las centrales eoloeléctricas en la región. Este método no es propiamente censal sino de control, ya que el objetivo es la comparación de la actividad de ciertas especies.

F.2 Estudio de fatalidades durante fase de operación de la central eoloeléctrica

Una vez que la central eoloeléctrica ha entrado en operación, deben ponerse en marcha otros aspectos de monitoreo de fatalidades. Para lo anterior, es recomendable realizar una búsqueda de posibles aves o murciélagos que hayan colisionado, en un radio aproximado de 45 a 50 m alrededor de los aerogeneradores. La búsqueda deberá realizarse en trayectorias de espiral y zigzag, iniciando en la base del aerogenerador hasta el límite externo del área considerada. En cada visita debe elegirse el número mínimo de aerogeneradores de la central, estableciendo aquellos que servirán de control, los cuales deben ser inspeccionados en cada una de las visitas, y también deben elegirse algunos aerogeneradores de revisión variable, pero siempre teniendo cuidado de no elegirlos de forma aleatoria, sino en una serie programada.

En caso de encontrarse con alguna fatalidad, deberá indicarse en que aerogenerador sucedió, utilizando el sistema de identificación de la propia central, así como la posición y distancia con respecto al aerogenerador; la descripción de su estado y los indicios relativos a la causa de muerte (especie, edad y sexo si es posible, estado corporal, heridas, dispersión de los restos, etc.). Se procederá además a tomar fotografías del ave o murciélago. Todos estos datos se presentarán en una ficha de fatalidad y de la visita correspondiente a cada inspección. Una vez que se ha levantado dicha información, deben retirarse los restos, para evitar la duplicación de registros en futuros estudios. Aunque, sí es

recomendable llevar a cabo un estudio de depredación en el sitio, que permitan efectuar correcciones de datos obtenidos; lo anterior se llevara mediante el abandono al a cabo efectuará una prueba experimental consistente en el abandono aleatorio de restos de algunas aves de corral, en la proximidad de los aerogeneradores. Los restos serán abandonados, registrando el sitio preciso del mismo, y a la siguiente visita se inspeccionara el sitio, con objeto de determinar las tasas de depredación secundaria que permitan estimar dicho índice (Mourelle y Barro, 2004).

F.3 Evaluación de resultados.

El impacto ambiental de una central eoloeléctrica sobre la avifauna puede ser determinado en relación a la población local existente o bien respecto de la población regional, tomando como base el estudio realizado previo al emplazamiento de la central. Por tanto, la afectación debe ser considerada en términos de variaciones porcentuales respecto de la población local registrada en dicho estudio previo.

Se pueden tomar diversos niveles de afectación, y establecer aquellos máximos permisibles en el sitio. Los datos obtenidos permitirán, cuando sea requerido, adoptar las medidas correctivas de operación de la central, para mitigar dichas fatalidades. En la determinación de estos niveles máximos permisibles, se deberá tener en cuenta las fatalidades registradas, las alteraciones en el comportamiento de las aves, los factores ambientales y ecológicos afectados, así como también la consistencia de la serie estadística analizada (Mourelle y Barro, 2004).

ANEXO G
Listado de sitios útiles en Internet

Institución/tema/organización	Sitio en Internet
<i>Global Wind Energy Council, GWEC</i>	http://www.gwec.net/
<i>American Wind Energy Association</i>	http://www.awea.org
<i>20 Percent Wind Energy by 2030</i>	http://www.20percentwind.org/
<i>Canadian Wind Energy Association</i>	http://www.canwea.ca
<i>European Wind Energy Association</i>	http://www.ewea.org
<i>The British Wind Energy Association</i>	http://www.bwea.com
<i>German Wind Energy Association</i>	http://www.wind-energie.de
<i>Danish Wind Turbine Manufacturers Association</i>	http://www.windpower.org
<i>The Australian Wind Energy, Association AusWEA</i>	http://www.auswea.com.au/
<i>New Zealand Wind Energy Association</i>	http://www.windenergy.org.nz/
<i>Asociación empresarial eólica de España</i>	http://www.aeeolica.org/
<i>World Wind Energy Association (WWEA)</i>	http://www.wwindea.org/default.htm
<i>National Wind Coordinating Comité</i>	http://www.nationalwind.org/workgroups/wildlife/default.htm
<i>BirdLife Internacional</i>	http://www.birdlife.org/index.html
<i>The Peregrine fund</i>	http://www.peregrinefund.org/default.asp
<i>What kill birds?</i>	http://www.currykerlinger.com/
<i>Bat Conservation International, Inc.</i>	http://www.batcon.org/
<i>Bats and Wind Energy Cooperative</i>	http://www.batsandwind.org/
<i>If not wind? (AWEA)</i>	http://www.ifnotwind.org/default.shtml
<i>Centrales eoloeléctricas en México</i>	http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/lisctralesgeneradoras/eoloelectricas.htm?Combo=eoloelectricas
<i>Página del Plan Eólico, Instituto de Investigaciones Eléctricas</i>	http://planeolico.iie.org.mx/iiepnud.htm
<i>International Renewable Energy Agency, IRENA</i>	http://www.irena.org/
<i>Hawk Watch Organization</i>	http://www.hawkwatch.org/Veracruz/veracruz.htm

Referencias y Bibliografía

- Australian Wind Energy Association. (2002). *Best Practice Guidelines for implementation of wind energy projects*. Recurso electrónico obtenido en Abril de 2006. <http://www.auswea.com.au>.
- American Wind Energy Association. *Wind Energy Sitting Handbook*. Recurso electrónico obtenido en Diciembre de 2008. <http://www.awea.org>.
- American Wind Energy Association. *Wind and Wildlife: Facts about wind energy & birds*. Recurso electrónico obtenido en Abril de 2006. <http://www.awea.org>.
- American Wind Energy Association. *Wind and Wildlife: Frequently Asked Questions*. Recurso electrónico obtenido en Abril de 2006. <http://www.awea.org>.
- American Wind Energy Association. *Wind and Wildlife: Learning from the Past, Changing for the Future*. Recurso electrónico obtenido en Abril de 2006. <http://www.awea.org>.
- American Wind Energy Association. *Wind and Wildlife: Save the Loon with Wind Energy: Comparative Impacts of Wind Energy Sources on Wildlife*. Recurso electrónico obtenido en Abril de 2006. <http://www.awea.org>.
- American Wind Energy Association. *AWEA Wind Power Value Chain Wind*. Recurso Electronico Obtenido en Diciembre de 2008, http://www.awea.org/resources/resource_library/.
- Asociación Británica de Energía Eólica (2005). *El ruido de baja frecuencia y los aerogeneradores*. Londres.
- Asociación de Energía Eólica de Alemania (2008). *Wind energy – an energy source with a fantastic future*. Berlin.
- Arita, H.T. & Ortega, J. (1998). *The Middle American Bat Fauna – conservation in the Neotropical-Nearctic border*. Pp 295-308 in Kunz, T.H. & Racey, P.A. (eds). *Bat Biology and Conservation*. Smithsonian Institution Press, Washington/London. 365pp.
- Arroyo-Cabrales, J., Hollander, R.R. y Knox Jones, J. (1987). *Choeronycteris mexicana*. *Mammalian Species* 291: 1-5.
- Bach, L., R. Brinkman, H.J.G.A. Limpens, U. Rahmel, M. Reichenbach, and A. Roschen. (1999). *Bewertung und planerische Umsetzung von Fledermausdaten im Rahmen der Windkraftplanung. - Bremer Beitrage fuer Naturkunde und Naturschutz, Band 4. Themenheft "Voegel und Windkraft":163-170*.
- Barclay, R.M.R. (1984). *Observations on the migration, ecology and behaviour of bats at Delta Marsh, Manitoba*. *Canadian Field-Naturalist* 98: 331-336.

- Berthold, P. (1993). *Bird migration: a general survey*. Oxford University. New York. 239pp.
- BirdLife International. *Position Statement on Wind Farms and Birds. Adopted by the BirdLife Birds and Habitats Directive Task Force on 9 December 2005*. Recurso electrónico obtenido en Abril de 2006. <http://www.birdlife.org>.
- Borja, M.A., González, G.R., Mejía, F.M. Huacuz, V. J., Medrano V.M., y Saldaña, F.R. (1998). *Estado del Arte y Tendencias de la Tecnología Eoloeléctrica*. México D.F.: UNAM.
- Borja, M.A., Jaramillo, O., Mimiaga, F. (2005). *Primer Documento del Proyecto del Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec. Gobierno del Estado de Oaxaca-Instituto de Investigaciones Eléctricas. México*.
- Breuning, C.U., Evangel, F. (1983). *Solar Dictionary*. Albuquerque, NM:106
- Carlsbad Caverns National Park, Comunicado de prensa (2005). *Wind Suspected Culprit in Bat Deaths at Caverns*. National Park Service, U.S. Department of the Interior.
- Ceballos, G., Fleming, T.H., Chavez, C. y Nassar, J. (1997). *Population dynamics of *Leptonycteris curasoae* (Chiroptera: Phyllostomidae) in Jalisco, Mexico*. J. Mamm. 78(4): 1220-1230.
- Cockrum, E.L. (1969). *Migration in the guano bat, *Tadarida brasiliensis**. Miscellaneous Publications 51, University of Kansas Museum of Natural History 51: 303-336.
- Conley, R. (2005). *The Automobile (Inventions That Shaped the World)*. Children's Press. New York. P. 5.
- Crawford, R.L. and W.W. Baker. (1981). *Bats killed at a north Florida television tower: a 25-year record*. *Journal of Mammalogy* 62:651-652.
- Cryan, P. M. (2003). *Seasonal distribution of migratory tree bats (*Lasiurus* and *Lasionycteris*) in North America*. *Journal of Mammalogy*, 84:579–593.
- Curry, D. y Kerlinger, P. *What kill birds?*. Recurso electrónico obtenido en Noviembre de 2008. <http://www.currykerlinger.com/birds.htm>.
- Davis, R.B., Herred II, C.F. y Short, H.L. (1962). *Mexican free-tailed bats in Texas*. *Ecological Monographs* 32: 311-346.
- DOE, Departamento de Energía de los Estados Unidos. *20% Wind Energy by 2030 Increasing Wind Energy's Contribution to U.S. Electricity Supply* (2008). Documento disponible en: <http://www.osti.gov/bridge/>.
- DOE, Departamento de Energía de los Estados Unidos. *Small Wind Electric Systems, A U.S. Consumer's Guide*. (2005). Este documento puede ser obtenido en: http://www.windpoweringamerica.gov/pdfs/small_wind/small_wind_guide.pdf: 5-7.

- DeGraaf, R., y Rappole, J. (1995). *Neotropical migratory bird: natural history, distribution and population*. Comstock. Itahaca. 676 pp.
- Dingle, H. (1995). *Migration: the biology of life on the move*. Oxford University. New York. 474pp.
- Dorst, J. (1962). *The Migrations of Birds*. Houghton Mifflin; Boston.
- Dooling, R. (2002). *Avian Hearing and the Avoidance of Wind Turbines*. Report to National Renewable Energy Laboratory. National Technical Information Service, U. S. Department of Commerce, Springfield, Virginia.
- Dodge, D.M. (2006). *Illustrated History of Wind Energy*. Recurso Electronico Obtenido en Septiembre de 2008: <http://www.telosnet.com/wind/>
- Drewitt, Allan L. & Langston, Rowena H. W. (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* 148 (s1), 29-42. doi: 10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x
- Elphick, J. (2007). *Atlas of Bird Migration*. Firefly Books. Buffalo, NY.
- Erickson, W. P., Johnson, G.D., Young, D. P., Strickland, M. D., Good, R. E., Bourassa, M., Bay, K., and Sernka, K.J. (2002). *Synthesis and Comparison of Baseline Avian and Bat Use, Raptor Nesting and Mortality Information from Proposed and Existing Wind Developments*. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee, by WEST, Inc., Washington, D.C.
- Erickson, W. P., Johnson, G.D., Strickland, M. D., Young, D. P., Sernka, K.J., Good, R. E. (2001). *Avian Collisions with Wind Turbines: A Summary of Existing Studies and Comparisons to Other Sources of Avian Collision Mortality in the United States*. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee, by WEST, Inc., Washington, D.C.
- Eymlen, S.T. (1975). Migration: Orientation and Navigation. pp. 129-219. en *Avian Biology* vol. 5. Academic Press.
- European Wind Energy Association (2008). *Wind Energy and the Environment*. Bruselas, Belgica.
- Findley, J.S. y Jones, C. (1964). *Seasonal distribution of the hoary bat*. *J.Mamm.* 45: 461-470.
- Fleming, T.H. y Eby, P. (in press). *Ecology of bat migration*. (in Kunz, T.H. & Fenton, M.B., *Bat Ecology*, Plenum Press, New York).
- Fiedler, J.K. (2004). *Assessment of bat mortality and activity at Buffalo Mountain Windfarm, eastern Tennessee*. M.S. Thesis, University of Tennessee, Knoxville.
- Foster, R. Ellis, A. (2003). *Renewable Energy for Water Pumping Applications in Rural Villages*. Report to National Renewable Energy Laboratory. Boulder, CO: 41.

- Geggie, J.F. and M.B. Fenton. (1985). *A comparison of foraging by Eptesicus fuscus* (Chiroptera:Vespertilionidae) in urban and rural environments. *Canadian Journal of Zoology* 63:263-267.
- Gipe, P. (2005). *Wind Power, Renewable energy for Home, Farm, and Business*. Chelsea Green Publishing Company. White River Junction, Vermont. P. 3.
- Gipe, P. (2005). *Wind Power, Renewable energy for Home, Farm, and Business*. Chelsea Green Publishing Company. White River Junction, Vermont. P. 3.
- Glas, B.P. (1982). *Seasonal movements of Mexican free-tailed bats Tadarida brasiliensismexicana banded in the Great Plains*. *The Southwestern Naturalist* 27(2): 127-133.
- Global Wind Energy Council. (2006). *Comunicado de Prensa: Record year for wind energy: Global wind power market increased by 40.5% in 2005*. Brussels Belgium.
- Global Wind Energy Council. (2006). *Folleto: Energía Eólica*. Recurso electrónico obtenido en Abril de 2006. <http://www.gwec.net>.
- Global Wind Energy Council. (2008). *Global Wind 2007 Report*. Brussels Belgium. Recurso electrónico obtenido en Diciembre de 2008. <http://www.gwec.net>.
- Gobierno del Estado de Oaxaca. (2002). *Presentación del Ing. Juan José Moreno Sada en el Tercer Coloquio Internacional del Corredor Eólico del Istmo*. Huatulco, Oax. México.
- Gómez Rocha, L.M. (2001). *Aspectos Relevantes de Energía Eólica, WindPower 2001*. XXV Semana Nacional de Energía Solar. San Luis Potosí, SLP.
- Gray, T. (2004). *State of the Wind Energy Industry in 2004*. In *Proceedings of the Wind Energy and Birds/Bats Workshop: Understanding and Resolving Bird and Bat Impacts*. Washington, DC. May 18-19, 2004. Prepared by RESOLVE, Inc., Washington, D.C., Susan Savitt Schwartz, ed. September 2004.
- Green R.H. (1979). *Sampling Designs and Statistical Methods for Environmental Biologist*. Wiley, New York, NY.
- Gurrola, M. A, (2004). *Magnitud e importancia de la migración de las aves*. Recurso electrónico obtenido en Abril de 2006. <http://www.correodelmaestro.com/anteriores/2004/octubre/1anteaula101.htm>
- Hensley, A.P. y Wilkins, K.T. (1988). *Leptonycteris nivalis*. *Mammalian Species* 307: 1-4.
- Hilton-Taylor, C. (Compiler; 2000). *2000 IUCN Red List of Threatened Species*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Xviii+61pp.

- Hodos, W. (2003). *Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collisions with Wind Turbines*. Period of Performance: July 12, 1999 to August 31, 2002. NREL/SR-500-33249.
- Hodos, W., A. Potocki, T. Storm, and M. Gaffney. (2001). *Reduction of motion smear to reduce avian collisions with wind turbines*. In Proceedings of the National Avian - Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, CA, May 16-17, 2000. Prepared for the Avian Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee, by RESOLVE, Inc., Washington, D.C. 179.
- International Renewable Energy Agency. (2008). *Establecimiento de una Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)*. Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear del Gobierno Federal de la República Federal de Alemania. Berlín: 6-11.
- Howell, N.G. y Webb, S. (1995). *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Centralamerica*. Oxford University. New York. P. 6-34.
- Hunt, D. (1979). *Energy Dictionary*. New York, NY: 406
- Hutson, A.M., Mickleburgh, S.P. y Racey, P.A. (2001). *Microchiropteran Bats – global status survey and conservation action plan*. IUCN, Gland. 259pp.
- Instituto Mundial del Carbón, (2008). *Hechos del Carbón, 2008*. Recurso Electrónico obtenido en Abril de 2009. http://www.worldcoal.org/assets_cm/files/PDF/coalfacts08.pdf
- Jen, P.H.-S. and J.K. McCarty. (1978). *Bats avoid moving objects more successfully than stationary ones*. *Nature* 275:743-744.
- Johnson, G.D. and M.D. Strickland. (2003). *Biological assessment for the federally endangered Indiana bat (*Myotis sodalis*) and Virginia big-eared bat (*Corynorhinus townsendii virginianus*)*, NedPower Mount Storm Wind Project, Grant County, West Virginia. Report prepared by WEST, Inc. for NedPower Mount Storm, Chantilly, Virginia.
- Johnson, G.D., W.P. Erickson, M.D. Strickland, M.F. Shepherd, D.A. Shepherd, and Sarappo. (2003). *Mortality of bats at a large-scale wind power development at BuffaloRidge, Minnesota*. *American Midland Naturalist* 150:332-342.
- Johnson, G.D. (2004). *A review of bat impacts at wind farms in the U.S. Pages 46–50 en Proceedings of the Wind Energy and Birds/Bats Workshop: Understanding and Resolving Bird and Bat Impacts*. Washington, D.C., May 18-19, 2004. S. S. Schwartz, ed. RESOLVE, Inc. Washington, D.C.
- Johnson, G.D. (2005). *Overview of available bat mortality studies at wind farms. Pages 9- 11 en: Proceedings of the Onshore Wildlife Interactions with Wind Developments: Research Meeting V*. November 3-4, 2004, Lansdowne, VA. S. S. Schwartz, ed. RESOLVE, Inc., Washington, D.C.

- Johnson, W.E., Franklin, W.L. y Iriarte, J.A.(1992). The mammalian fauna of the Northern Chilean Patagonia: a biogeographical dilemma. *Mammalia* 56(3): 445-457.
- Keast, A. y E.S. Morton (compiladora) 1980. *Migrant Birds in the Neotropics*. Smithsonian. Inst. Press.
- Kerlinger, P. (1995). *How Birds Migrate*. Stackpole Books. Mechanicsburg, PA. P.1.
- Kennedy, J.S. (1985). *Migration, behaviorial and ecological*. Pp 5-26 in: *Migration: Mechanisms and Adaptative Significance* (M.A. Rankin, ed). Contributions of Marine Science, 27 (Suppl).
- Kerns, J. y P. Kerlinger. (2004). *A study of bird and bat collision fatalities at the MountaineerWind Energy Center, Tucker County, West Virginia: annual report for 2003*. Technical report prepared by Curry and Kerlinger, LLC. for FPL Energy and Mountaineer WindEnergy Center Technical Review Committee.
- Kingsley, A. y Whittam, B. (2003). *Wind Turbines and Birds: A Guidance Document for Environmental Assessment*. Prepared for Canadian Wildlife Service. Quebec, Canada.
- Kunz, T.H. y Racy, P.A. (1998). *Bat Biology and Conservation*. Smithsonian Institution Press. Boston, MA.
- Langston, R.H.W. y Pullan, J.D. (2004). *Effects of wind farms on birds*. Strasburg, France: Council of Europe.
- LaVal, R.K. (1973). *Observations on the biology of Tadarida brasiliensis cyanocephala of southeastern Louisiana*. *American Midland Naturalist* 89: 112-120.
- Malcolm, J. R., Liu, C., Neilson, R. P., Hansen, L., y Hannah L., (2006). Global Warming and Extinctions of Endemic Species from Biodiversity Hotspots [Versión Electrónica]. *Conservation Biology*, 20(2), 538-548.
- Manwell, J.F., McGowan, J.G., Rogers, A.L. (2005). *Wind Energy Explained*. John Wiley & Sons. West Sussex, England: 247-367.
- Mathew, S. (2007). *Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis and Economics*. Springer Science and Business Media, Holanda: 24, 183, 221
- Mickleburgh, S.P., Hutson, A.M. y Racey, P.A. (1992). *Old World Fruit Bats – An ActionPlan for their Conservation*. IUCN, Gland. 252pp.
- Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza y Seguridad Nuclear. (2008). *BMU-Fuentes Renovables de Energía en Cifras*. Gobierno Federal de la República Federal de Alemania. Berlín: 11.
- More, C. (2000). *Understanding the Industrial Revolution*. Routledge; London, New York: 9-24.

- Murciélagos (2006). Recurso electrónico obtenido en Julio de 2006. <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/329/murcielagos.html>.
- Myers, P. y Wetzel, R.M. (1983). *Systematics and Zoogeography of the bats of the ChacoBoreal*. Miscellaneous Publications of the Museum of Zoology, University of Michigan 165: 1-59.
- Navarro, A. G. y H. Benítez (1995). *El dominio del aire*. Fondo de Cultura Económica. México D.F.
- Nelson, V., Foster, R., Carrillo, O., Gómez, M. Romero Paredes, A. (2004). *Bombeo de Agua con Energía Eólica*. NREL. Boulder, CO: 1-5.
- Nelson, V. (1996). *Wind Energy and Wind Turbines*. Alternative Energy Institute, WTAMU. Canyon, TX.
- Nicholson, C.P. (2003). *Buffalo Mountain Wind farm bird and bat mortality monitoring report: October 2001 - September 2002*. Tennessee Valley Authority, Knoxville.
- NWCC. (2004). *Fact Sheet: Wind Turbine Interactions with Birds and Bats: A Summary of Research Results and Remaining Questions*. Washington, D.C.
- Palmer Cosslett Putnam (1974). *Power from the Wind*. Van Nostrand Reinhold. United States.
- Percival, S.M. (2001). *Assessment of the effects of offshore wind farms on birds*. Report ETSU W/13/00565/REP, DTI/Pub URN 01/1434.
- POWIWD-V. 2005. *Proceedings of the Onshore Wildlife Interactions with Wind Developments: Research Meeting V. Lansdowne, VA November 3-4, 2004*. Prepared for the Wildlife Subcommittee of the National Wind Coordinating Committee by RESOLVE, Inc., Washington, DC, Susan Savitt Schwartz, ed. 120 pp.
- Proceedings of the Wind Energy and Birds/Bats Workshop: *Understanding and Resolving Bird and Bat Impacts*. Washington, DC. May 18-19, 2004. Prepared by RESOLVE, Inc., Washington, D.C., Susan Savitt Schwartz, ed. September 2004.
- Rojas-Martinez, A., Valiente Banuet, A., Arizmendi, M.del C., Alcantara-Eguren, A. y Arita, H.T. (1999). *Seasonal distribution of the long-nosed bat (Leptonycteris curasoae) in North America: does a generalized migration pattern really exist?* Journal of Biogeography 26: 1065-1077.
- Sagrillo, M. (1999). Bats and Wind Turbines. Recurso electrónico obtenido en Octubre de 2008. http://www.awea.org/faq/sagrillo/ms_bats_03202.html.
- Sánchez, F. y Cadena, A. (1999). *Movements of L.curasoae in Colombia*. Revista de la Académica Colombiana de Ciencias Exacta Físicas y Naturales 23: 683-686.

- Saunders, W.E. (1930). *Bats in migration*. Journal of Mammalogy 11:225.
- Science Daily (2009). *Why Wind Turbines Can Mean Death For Bats*. Version electrónica obtenida en marzo de 2009. <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/08/080825132107.htm>
- SENER (Secretaría de Energía) (2007) *Prospectiva del Sector Eléctrico 2007-2016*: 92
- Servicio Nacional de Meteorología de los Estados Unidos. (2008). Recurso electrónico obtenido en Septiembre de 2008. <http://www.nws.noaa.gov/>
- Smallwood, K.S. y Thelander, C.G. (2005) *Bird Mortality at the Altamont Pass Wind Resource Area: March 1998 – September 2001*. Subcontract Report NREL/SR-500. Prepared for the National Renewable Energy Laboratory. U.S.A.
- Strelkov, P.P. (1969). *Migratory and stationary bats (Chiroptera) of the European part of the Soviet Union*. Acta Zoologica Cracoviensia 14: 393-439.
- Strelkov, P.P. (1997a.) *Nursing area and its position within the range in migratory bats (Chiroptera: Vespertilionidae) from Eastern Europe and neighboring regions: Part I*. Russian Journal of Zoology 1(3): 330-339.
- Strelkov, P.P. (1997b). *Nursing area and its position within the range in migratory bats (Chiroptera: Vespertilionidae) from Eastern Europe and neighboring regions: Part II*. Russian Journal of Zoology 1(4): 545-553.
- Terres, J.K. (1956). *Migration records of the red bat, Lasiurus borealis*. Journal of Mammalogy 37:442.
- The Peregrine Fund. *The Peregrine Fund's Position on Wind Power Generation, May 2003*. Recurso electrónico obtenido en Mayo de 2006. <http://www.peregrinefund.org/commentaries.asp>.
- Thelander, C. G., and L. Ruge. (2000). *Avian risk behavior and fatalities at the Altamont Wind Resource Area: March 1998 to February 1999*. Report to National Renewable Energy Laboratory. National Technical Information Service, U. S. Department of Commerce, Springfield, Virginia.
- Thelander, C. G., Smallwood, S. D., Ruge, L. (2002). *Bird risk behaviors and fatalities at the Altamont wind resource area. A progress report*.
- Trajano, E. (1996). *Movements of cave bats in southeastern Brazil, with emphasis on the population ecology of the common vampire bat, Desmodus rotundus (Chiroptera)*. Biotropica 28(1): 121-129.

- Tuttle, M.D. (2004). *Wind energy and the threat to bats*. *BATS* 22(2):4-5. Zinn, T.L. and W.W. Baker. 1979. Seasonal migration of the hoary bat, *Lasiurus cinereus*, through Florida. *Journal of Mammalogy* 60:634-635.
- Van Gelder, R.G. & Wingate, D.B. (1961). *The taxonomy and status of bats in Bermuda*. *American Museum Novitates* 2029: 1-9.
- Wackernagel M, Rees W, (1996). *Our ecological footprint: reducing human impact on the earth*. New Society Publishers, British Columbia: 61–83.
- Washington Times, (2009). *Wind energy finds fix for exploding bats*. Recurso Electrónico obtenido en marzo de 2009. <http://washingtontimes.com/news/2009/mar/23/wind-turbine-advocates-test-a-solution-to-explodin/>
- Williams, K.T. (1989). *Tadarida brasiliensis*. *Mammalian Species* 331: 1-10.
- Young, D. P., Erickson, W. P., Strickland, M. D., Sernka, K.J., y Good, R. E. (2003). *Comparison of Avian Responses to UV-Light-Reflective Paint on Wind Turbines*. Report to National Renewable Energy Laboratory. National Technical Information Service, U. S. Department of Commerce, Springfield, Virginia.