

Recolección y análisis de estudios realizados a nivel mundial en torno al impacto que tienen sobre la avifauna, las actividades de construcción y operación de instalaciones eoloeléctricas

*Preparado para: El proyecto **Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México**. Cofinanciado por el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) por medio Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y fungiendo como Agencia Ejecutora el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).*

*Preparado por: **Ing. Luis Martín Gómez R. (SWTDI-NMSU)***

Mtro. Robert Foster (SWTDI-NMSU)

Biol. Malinalli Rodríguez G.

Ing. Rodolfo Martínez S. (BUTECSA)

Revisado por:

Ing. Marco A. Borja (IIE)

Lic. Raúl Rodríguez García (Semarnat)

Lic. Citlalin Martínez Córdova (Semarnat)

Dr. Jesús A. Tejeda Ricardez (IIE-PNUD)

Bufete de Tecnología Solar S.A.

Grajales Robles 16- 7.

Col. Del Valle. México D.F. C.P. 03100

Tel: +52 (55) 11 07 61 50

Fax: +52 (55) 11 07 77 53

Southwest Technology Development Institute-

New Mexico State University

Box 30001, MSC 3SOLAR

Las Cruces, New Mexico 88003-8001

Tel: + (505) 646-2943

Fax: + (505) 646-3841

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO -----	2
1 INTRODUCCIÓN -----	8
2 ALCANCE DEL ESTUDIO -----	11
3 GENERACIÓN EOLOELÉCTRICA Y MEDIO AMBIENTE -----	12
4 INDICADORES DE COLISIONES DE AVIFAUNA Y MURCIÉLAGOS CON AEROGENERADORES -----	15
4.1 <i>Avifauna</i> -----	15
4.2 <i>Murciélagos</i> -----	19
5 COMPARACIÓN DEL POSIBLE IMPACTO AMBIENTAL DE LA GENERACIÓN EOLOELÉCTRICA SOBRE LA AVIFAUNA Y MURCIÉLAGOS CON OTROS FACTORES ANTROPOGÉNICOS -----	21
5.1 <i>Fatalidades aviaries por colisión con estructuras antropogénicas</i> -----	21
5.2 <i>Impacto de otras fuentes de energía</i> -----	22
5.3 <i>Cambio climático</i> -----	23
6 MODIFICACIÓN Y PÉRDIDA DEL HÁBITAT -----	24
7 PROCESOS DE MIGRACIÓN -----	25
7.1 <i>Migración de Avifauna</i> -----	25
7.2 <i>Migración de Murciélagos</i> -----	27
8 FACTORES QUE MITIGAN DE MANERA NATURAL EL RIESGO DE COLISIÓN DE AVES MIGRATORIAS, RESIDENTES Y MURCIÉLAGOS, EN ZONAS AGRÍCOLAS, GANADERAS, O ERIALES. -----	28
8.1 <i>Aves migratorias</i> -----	28
8.2 <i>Aves residentes</i> -----	30
8.3 <i>Murciélagos</i> -----	30
9 RECOMENDACIONES GENERALES PARA MINIMIZAR LAS COLISIONES DE AVIFAUNA Y MURCIÉLAGOS CON AEROGENERADORES EN ZONAS AGRÍCOLAS GANADERAS Y ERIALES. -----	32
9.1 <i>Selección de sitios</i> -----	32
9.2 <i>Distanciamiento de aerogeneradores</i> -----	32
9.3 <i>Ensayo y validación de métodos y técnicas de mitigación</i> -----	34
10 RECOMENDACIONES GENERALES CON RELACIÓN A ESTUDIOS SOBRE AVIFAUNA Y MURCIÉLAGOS PARA SELECCIONAR SITIOS PARA INSTALACIONES EOLOELÉCTRICAS EN ZONAS AGRÍCOLAS, GANADERAS, O ERIALES. -----	34
11 POSTURA OFICIAL DE ALGUNAS ORGANIZACIONES PROTECTORAS DE AVES ----	36
11.1 <i>BirdLife International</i> -----	36
11.2 <i>The Peregrine Fund</i> -----	37
12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	38
13 REFERENCIAS -----	43
ANEXO A: MÉTODOS Y TECNOLOGÍAS PROPUESTAS POR VARIOS INVESTIGADORES PARA MITIGAR LAS COLISIONES DE AVIFAUNA CON AEROGENERADORES -----	1
1.- <i>Métodos visuales</i> -----	1
2.- <i>Dispositivos y métodos sonoros en los aerogeneradores</i> -----	4
ANEXO B: LISTADO DE SITIOS ÚTILES EN INTERNET -----	6

Resumen Ejecutivo

La generación de electricidad a partir de fuentes renovables de energía es una alternativa ecológicamente preferible sobre aquellas que hacen uso de fuentes no renovables, ya que en términos generales tiene menores impactos ambientales. Una de estas fuentes renovables es la denominada ***energía eólica***, que es la energía cinética del viento; o bien, del aire en movimiento. Su aprovechamiento para generar electricidad mediante máquinas llamadas **aerogeneradores** se conoce como **generación eoloeléctrica**, la cual presenta ventajas medioambientales, tales como:

- ***No emisión de gases de efecto invernadero y 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.***

Conforme a los beneficios ambientales, la generación eoloeléctrica puede traer beneficios importantes de otra índole (Borja, *et al.*, 1998), como son:

- ***Creación de empleos;***
- ***Desarrollo regional;***
- ***Fomento a 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.***

La energía eoloeléctrica ha alcanzado un repunte muy importante en los últimos años, sobretodo en países industrializados quienes han reconocido las bondades y ventajas de esta forma de generación limpia. El ***Global Wind Energy Council (GWEC)*** considera que la energía eólica es un recurso poderoso y significativo, además de seguro, limpio y abundante, y que por lo tanto debe ser una parte de la solución a este desafío energético global. A continuación se presenta una tabla que muestra los diez países con la producción más alta de energía eoloeléctrica en el mundo:

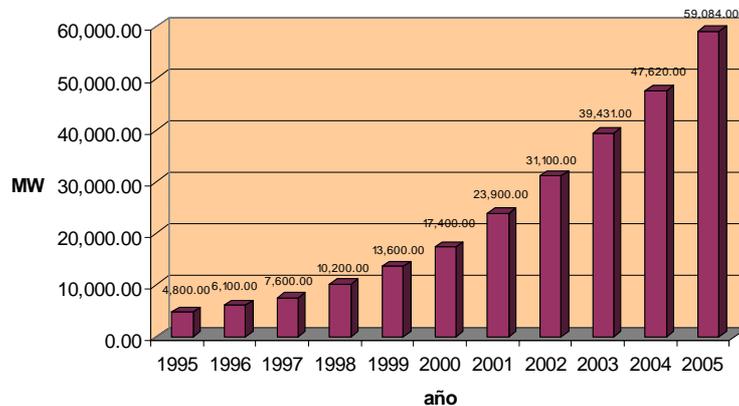
Capacidad total de energía Eolo eléctrica instalada en los 10 mercados mayores del mundo.

Capacidad Total	MW	%
Alemania	18,428	31.2
España	10,027	17.0
Estados Unidos	9,149	15.5
India	4,430	7.5
Dinamarca	3,122	5.3
Italia	1,717	2.9
Reino Unido	1,353	2.3
China	1,260	2.1
Holanda	1,219	2.1
Japón	1,078	1.8
Total de los 10 Mercados más importantes	51,936	85.8
Resto del Mundo	7,368	14.2
Total Global	59,322	100

Fuente: Comunicado de Prensa del Consejo Global de Energía Eólica GWEC (Febrero 2006).

Asimismo, el repunte de la energía eoloeléctrica se puede ver reflejado en la siguiente figura, la cual muestra el crecimiento de la capacidad eoloeléctrica instalada en el mundo de 1995 a 2005.

Capacidad Instalada Global Acumulada 1995-2005.



Fuente: Comunicado de Prensa del Consejo Global de Energía Eólica, GWEC (Febrero 2006).

En el ámbito internacional, México es considerado como un país con amplio potencial para el desarrollo de la generación eoloeléctrica. En México, se reconoce que el aprovechamiento del principal recurso eólico 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, 2006).

Por lo anterior, en México existe un gran interés por lograr el mejor aprovechamiento del recurso eólico, por lo que diversas organizaciones, tanto públicas como privadas, están realizando acciones para dicho fin. Dentro de este contexto el “*Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México*” y en apoyo a una iniciativa de la Dirección General de Energía y Actividades Extractivas de la Semarnat para formular un proyecto de **Norma Oficial Mexicana que Establece las Especificaciones Técnicas para la Protección del Medio Ambiente Durante la Construcción, Operación y Abandono de Instalaciones Eoloeléctricas en Zonas Agrícolas, Ganaderas y Eriales**, en pleno acuerdo con la citada dependencia de Semarnat y bajo supervisión de la misma, contrató el presente estudio cuyo objetivo principal es generar información confiable y objetiva en materia del posible impacto de las instalaciones eoloeléctricas sobre la avifauna y los murciélagos.

Lo anterior, es porque en principio se sabe que el principal recurso eólico en México se localiza en zonas agrícolas, ganaderas y eriales que están ubicadas principalmente en el Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca, así como en regiones de Zacatecas, Hidalgo, Veracruz, Puebla, Tamaulipas, Baja California, Baja California Sur, Yucatán, Chiapas, Chihuahua, Nuevo León, Sinaloa, y otras entidades federativas. Se sabe que por sus características ambientales, las zonas agrícolas, ganaderas y eriales son preferidas para la instalación de proyectos eoloeléctricos.

El presente estudio contiene los resultados de la investigación que fue realizada en materia del posible impacto de las instalaciones eoloeléctricas sobre la avifauna y los murciélagos, incluyendo: la descripción de los procesos de migración y las rutas migratorias en México; indicadores de colisiones observadas en otros países; comparación del impacto de la generación eoloeléctrica con respecto a otros factores antropogénicos, descripción de los factores que de manera natural mitigan el posible impacto en zonas agrícolas, ganaderas y eriales; recomendaciones para mitigar los impactos, y recomendaciones para realizar estudios.

Efectos de la generación eoloeléctrica en la avifauna y en los murciélagos

La mayoría de los estudios analizados demuestran que las centrales eoloeléctricas 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 eoloeléctrica (Langston y Pullan, 2004).

Asimismo, 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, 2006). La tabla siguiente presenta las fatalidades ocasionadas por actividades y estructuras de origen humano, 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 250 de éstas, lo cual representaría tan sólo el 2.5% del número total de fatalidades aviarias ocasionada por objetos antropogénicos.**

Fatalidades aviarias por actividades y estructuras de origen humano en los Estados Unidos

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

Fuentes: ^a Curry y Kerlinger, 2006; ^b Erickson, *et al.*, 2001.

Por otra parte, un tema relativamente nuevo que ha llamado la atención de asociaciones ecologistas y de la misma industria eólica, es el de fatalidades de murciélagos. Las probables razones para este efecto adverso, están siendo estudiadas por una sociedad conformada por diversas organizaciones de los Estados Unidos. Mediante dichos estudios se espera encontrar los medios de mitigar las fatalidades de murciélagos en centrales eoloeléctricas, puesto que ocupan el mismo lugar ecológico que la avifauna (Erickson *et al.*, 2001). Adicionalmente, aunque no se encuentren contabilizados, existen actividades humanas que impactan a las murciélagos, como son la explotación de minas que provoca pérdida de 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).

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.

Factores que de forma natural mitigan el riesgo de colisión de avifauna y murciélagos en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.

Durante el estudio se encontraron los factores que pueden mitigar, de manera natural, el riesgo de colisión de aves migratorias, residentes y murciélagos, en zonas agrícolas, ganaderas y eriales; con el propósito de hacer evidente que la generación eoloeléctrica en dichas zonas implica menor riesgo ambiental que en otras zonas, tales como que:

- *dos terceras partes de las aves se desplazan durante la noche y vuelan tan alto que es difícil percibirlas a simple vista.*
- *una gran cantidad de especies se concentran en presas, lagunas, humedales, playas, estuarios y cerca del mar; otros grupos prefieren bosques y selvas;*
- *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;*
- *las aves que van al Sur o regresan al Norte establecen direcciones muy precisas. Los tiempos de partida y llegada de las poblaciones migratorias solamente varían unos cuantos días de un año a otro;*
- *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;*
- *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;*
- *típicamente, las alturas de vuelo de las aves residentes son relativamente bajas y van de 4 a 52 metros de altura sobre el terreno;*
- *las tasas de mortalidad de murciélagos, generalmente, son altas en zonas boscosas, moderadas en áreas abiertas cercanas a estas zonas boscosas, y mucha más baja en áreas abiertas; y*
- *la mayoría de las fatalidades de murciélagos ocurrieron en el período de finales del verano y principios del otoño, con un pico durante el mes de agosto, lo cual coincide con los períodos de migración.*

Posturas oficiales de organizaciones protectoras de aves

Se analizaron las posturas de organizaciones protectoras de aves: ***BirdLife International***, y ***Peregrine Fund***. Ambas organizaciones apoyan y reconocen las bondades 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.

Recomendaciones

Como primera recomendación para minimizar el riesgo de impactos de la avifauna y murciélagos con aerogeneradores, se encuentra la selección del sitio específico donde se va a instalar una central eoloeléctrica. Es conveniente dar preferencia a sitios que ya han sido degradados por causas naturales o actividades humanas, tales como agricultura y ganadería y por lo tanto evitar el uso de áreas naturales protegidas. (Kingsley and Whittam, 2003; Langston y Pullan, 2004). Por razones obvias, también es conveniente dar preferencia a zonas eriales.

También es importante considerar 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). Una recomendación hecha 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). De acuerdo a la ingeniería de planta recomendada, la distancia mínima en sitios con vientos no unidireccionales debe ser de **250 metros**, mientras que en áreas con vientos unidireccionales de **500 metros**, como mínimo. Por lo tanto, implícitamente, la ingeniería de planta generará una configuración adecuada.

Respecto a la dirección perpendicular a la velocidad del viento, las buenas prácticas de ingeniería de planta conducen a 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 conduce a separaciones que van de dos a tres diámetros. Así, para una central eoloeléctrica 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**.

Finalmente, **se recomienda** que el proyecto de Norma incluya dentro los incisos correspondientes, a las especies de murciélagos migratorias y locales. Por ejemplo, dentro del inciso e) del Anexo A, para el Informe Preventivo se puede incluir dentro de la descripción de la fauna, a las especies de murciélagos con los mismos parámetros descritos para las aves.

1 Introducción

La generación de electricidad a partir de fuentes renovables de energía es una alternativa ecológicamente preferible sobre aquellas que hacen uso de fuentes no renovables, ya que en términos generales tiene menores impactos ambientales. Una de estas fuentes renovables es la denominada **energía eólica**, que es la energía cinética del viento; o bien, del aire en movimiento. Su aprovechamiento para generar electricidad mediante máquinas llamadas **aerogeneradores** se conoce como **generación eoloelectrica**.

Los primeros esfuerzos por desarrollar aerogeneradores surgieron en la década de 1880; sin embargo, su madurez técnica se comenzó a lograr hace tan sólo 20 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 se hayan abatido cerca de 50% durante los últimos 15 años, acercándose cada vez más a los de las fuentes convencionales (GWEC, 2005). La potencia nominal de los aerogeneradores se ha incrementado 100 veces respecto al año de 1980, y el diámetro de sus rotores se ha incrementado 8 veces durante el mismo período (GWEC, 2006). Actualmente, se estima que para la construcción de centrales eoloelectricas en tierra, la máxima potencia nominal de los aerogeneradores está entre 1.8 y 2 MW, y que las máquinas con capacidades mayores se emplean típicamente en proyectos en zonas marinas (Gray, 2004).

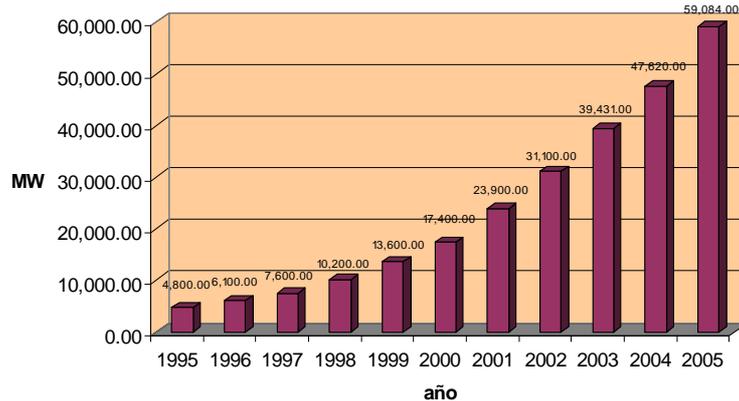
Para entender el contexto y el gran desarrollo de la generación eoloelectrica en diversos países alrededor del mundo, sobretodo en los industrializados, es importante tomar en cuenta la siguiente consideración del organismo denominado **Global Wind Energy Council (GWEC)**, el cual agrupa a las principales 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 de 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.

Mediante esta consideración, es posible ver la importancia que la energía eólica ha alcanzado en el consenso mundial como un instrumento eficaz para alcanzar el desarrollo sustentable global. Lo anterior ha traído como consecuencia que en los últimos años la capacidad global instalada de energía eólica se haya mantenido a un ritmo de crecimiento promedio cercano a 29% (GWEC, 2005). A finales de 1995, estaban instalados apenas 4,800 MW eoloelectricos en el mundo, pero la capacidad total instalada a diciembre de 2005 rebasa ya 59,000 MW (GWEC, 2006). La instalación de centrales eoloelectricas durante el año 2005, fue del orden de 11,500 MW, lo que representó inversiones cercanas

a 14 mil millones de dólares. Con base en los hechos durante los últimos años, el *GWEC* ha evaluado y considera que es viable alcanzar la meta de 1,260 GW¹ eoloeléctricos instalados al año 2020, con lo que sería factible cubrir cerca de 12% de los requerimientos totales de energía global para ese año² (EWEA, 2005). La Figura 1 muestra el crecimiento de la capacidad eoloeléctrica instalada en el mundo de 1995 a 2005.

Figura 1. Capacidad Instalada Global Acumulada 1995-2005.



Fuente: Comunicado de Prensa del Consejo Global de Energía Eólica, GWEC (Febrero 2006).

La Tabla 1 presenta la capacidad global total instalada por país al año 2005, en los 10 mercados más importantes. Como se puede observar, la Unión Europea se encuentra a la cabeza de la capacidad de generación eoloeléctrica mundial con 40,500 MW instalados, lo cual representa 9% de la capacidad total global instalada. Con esto, los países europeos han alcanzado su meta para el aprovechamiento de energía eólica cinco años antes de lo establecido³. Además, la *Asociación Europea de Energía Eólica (European Wind Energy Association, EWEA)* considera que, de seguir el actual ritmo de crecimiento, antes del año 2010 la generación eoloeléctrica cubrirá un tercio del compromiso adquirido por la Unión Europea, mediante el Protocolo de Kyoto, para reducir la emisión de gases efecto invernadero (GWEC, 2006).

En el ámbito internacional, México es considerado como un país con amplio potencial para el desarrollo de la generación eoloeléctrica. En México, documentos oficiales de planeación del sector eléctrico ya reconocen que el aprovechamiento del principal recurso eólico 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, 2006). 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

¹ Aproximadamente 20 veces la capacidad eoloeléctrica instalada actualmente en todo el mundo.

² 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.

³ 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.

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).

Tabla 1. Capacidad total de energía eoloeléctrica instalada en los 10 mercados mayores del mundo.

Capacidad Total	MW	%
Alemania	18,428	31.2
España	10,027	17.0
Estados Unidos	9,149	15.5
India	4,430	7.5
Dinamarca	3,122	5.3
Italia	1,717	2.9
Reino Unido	1,353	2.3
China	1,260	2.1
Holanda	1,219	2.1
Japón	1,078	1.8
Total de los 10 Mercados más importantes	51,936	85.8
Resto del Mundo	7,368	14.2
Total Global	59,322	100

Fuente: Comunicado de Prensa del Consejo Global de Energía Eólica GWEC (Febrero 2006).

Actualmente, en México existe un gran interés por lograr el mejor aprovechamiento del recurso eólico, 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, 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). Además, en el año 2005, en el ámbito del Poder Legislativo surgió una iniciativa de *Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía* (LAFRE) que ya fue aprobada por la Cámara de Diputados y que actualmente está en proceso de dictamen por parte de la Cámara de Senadores.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), a través de su Gerencia de Energías No Convencionales, está desarrollando el proyecto *Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México*. Este proyecto está siendo cofinanciado por el *GEF* por intermedio del PNUD. El proyecto tiene como propósito contribuir a los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo en materia de desarrollo sustentable y el aprovechamiento de las energías renovables, específicamente en el tema de la generación eoloeléctrica. Entre las metas de dicho proyecto está el desarrollo de capacidades, incluyendo la implementación de infraestructura tecnológica y acciones de fomento e impulso para la formación de recursos humanos especializados; la evaluación del recurso eólico en las áreas más prometedoras del país; generar información certera y confiable para respaldar propuestas y acciones para la eliminación de barreras; promover y difundir el aprovechamiento de la energía eólica; formular y promover tres proyectos eoloeléctricos hasta de 20 MW en esquemas innovadores de negocio que tengan amplio potencial de réplica, y generar insumos que contribuyan al análisis y propuestas de mejora a los marcos legal, regulador, e institucional que influyen en el desarrollo de la generación eoloeléctrica en México.

En dicho contexto, en apoyo a una iniciativa de la Dirección General de Energía y Actividades Extractivas de la Semarnat para formular un proyecto de **Norma Oficial Mexicana que Establece las Especificaciones Técnicas para la Protección del Medio Ambiente Durante la Construcción, Operación y Abandono de Instalaciones Eoloeléctricas en Zonas Agrícolas, Ganaderas y Eriales**, el proyecto *Plan de Acción Eólico*, en pleno acuerdo con la citada dependencia de Semarnat y bajo supervisión de la misma, contrató el presente estudio cuyo objetivo principal es generar información confiable y objetiva en materia del posible impacto de las instalaciones eoloeléctricas sobre la avifauna y los murciélagos.

2 Alcance del estudio

1. Analizar los estudios científicos que han sido desarrollados para determinar y cuantificar el impacto ambiental derivado de la construcción y operación de instalaciones eoloeléctricas en diferentes especies de aves y murciélagos.
2. Comparar la mortalidad de aves y murciélagos, derivado de la operación de instalaciones eoloeléctricas, con la ocasionada por otras estructuras, objetos o construcciones antropogénicas, poniendo en una real perspectiva el impacto de la generación eoloeléctrica en dicho tema.
3. Revisar las prácticas actuales en materia de planeación, desarrollo y operación de instalaciones eoloeléctricas, incluyendo el análisis de riesgo y el seguimiento ambiental de dichas instalaciones.
4. Formular propuestas enfocadas a minimizar el impacto ambiental de la generación eoloeléctrica en lo que respecta a la mortalidad de aves y murciélagos que colisionan con los aerogeneradores.

5. Contar con elementos para proponer, promover e integrar a la generación eoloeléctrica como una opción ecológicamente viable dentro de los planes de desarrollo sustentable del país, y además, respaldar con información veraz y confiable, el proyecto de *Norma Oficial Mexicana que Establece las Especificaciones para la Protección del Medio Ambiente Durante la Construcción, Operación y Abandono de Instalaciones Eoloeléctricas*

El presente documento contiene los resultados de la investigación de los estudios realizados en varios países. Durante la búsqueda bibliográfica se encontraron estudios y documentos de: Estados Unidos (país del cual se encontró la mayor cantidad de información), Canadá, Australia, Nueva Zelanda, España, Dinamarca, Gran Bretaña y Alemania. Los estudios que se analizaron son de diversa índole temática y con objetivos diversos. Lo anterior, debido a la dimensión multidisciplinaria de la relación de impacto de las centrales eoloeléctricas en la avifauna y murciélagos. Algunos documentos analizan los riesgos de impacto de las grandes centrales eoloeléctricas sobre la avifauna y plantean métodos para mitigarlos; otros se enfocan a cuantificar las fatalidades ocasionadas por la colisión de aves y murciélagos con los aerogeneradores. En todos los casos se determinó la validez y calidad de las fuentes de información que fueron consultadas para evitar caer en especulaciones y contar con un respaldo confiable y veraz de los resultados de este estudio.

3 Generación Eoloeléctrica y Medio Ambiente

Las principales ventajas ambientales de la generación eoloeléctrica (Borja, *et al.*, 1998) respecto a otras fuentes convencionales de energía son:

- *No emisión de gases de efecto invernadero y 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.*

Aunados a estos beneficios ambientales, la generación eoloeléctrica puede traer beneficios importantes de otra índole (Borja, *et al.*, 1998), tales como:

- *Creación de empleos;*
- *Desarrollo regional;*
- *Fomento a 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.*

Sin embargo, a pesar de sus amplios beneficios, la generación eoloeléctrica (como cualquier otra forma de generación de electricidad) no está exenta de tener ciertos impactos ambientales, los cuales se consideran mínimos como son: afectación del uso del suelo, intrusión visual en el paisaje y ruido que alcanza niveles ambientalmente aceptables a dos o tres centenas de metros de la base de los aerogeneradores, y aquel que en algunos sitios específicos pudieran causar sobre la avifauna y los murciélagos (Borja, *et al.*, 1998). Actualmente, el posible impacto que más preocupa al sector ambiental es el que pudiera causar sobre la avifauna, mismo que puede ser en dos formas: afectación y desplazamiento del hábitat; y colisiones con los aerogeneradores. Lo último ha sido objeto de controversia y, como consecuencia, ha generado el desarrollo de estudios por diversas instituciones, sobretodo en Estados Unidos y en la Unión Europea. Dichos estudios 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 eoloeléctricas. Asimismo, existen algunos estudios que buscan minimizar las fatalidades aviares mediante diseños y dispositivos que alerten a las aves de la proximidad de los aerogeneradores.

Otro tema ligado muy de cerca al impacto ambiental de centrales eoloeléctricas es el relacionado con la colisión de murciélagos, pues recientemente se han reportado algunas fatalidades de estos mamíferos con los aerogeneradores. Por ello, también se han iniciado proyectos de investigación para entender dicho fenómeno y lograr su mitigación.

Al igual que en otros países, en México se considera que no obstante los evidentes beneficios económicos, sociales y ambientales de la generación eoloeléctrica, se debe tratar que se eviten sus impactos ambientales o se reduzcan al mínimo posible para lograr la mayor relación beneficio-costos en materia ambiental y en su caso, establecer las medidas necesarias de mitigación.

Respecto a la protección del ambiente en México, la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establece que cualquier obra o actividad que pueda causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites establecidos para proteger el ambiente y restaurar los ecosistemas, se encuentra sujeta a la autorización de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (*Semarnat*). Para dicho fin, la autorización está sujeta a la presentación, evaluación y dictamen de una Manifestación de Impacto Ambiental. No obstante, dado que la actividad de generación eoloeléctrica en México apenas está comenzando, aún no se cuenta con suficientes elementos de juicio e información objetiva con relación a sus posibles impactos ambientales y los métodos para prevenirlos y mitigarlos, especialmente en materia de avifauna y murciélagos. Asimismo, dada la gran diversidad de ecosistemas en el Territorio Nacional, así como la gran variedad de factores orográficos, topográficos, climáticos y de otra índole; la evaluación de manifestaciones de impacto ambiental para instalaciones eoloeléctricas resulta complicada, si no se cuenta con los datos y la información adecuada.

Por inicio, se sabe que el principal recurso eólico en México se localiza en zonas agrícolas, ganaderas y eriales que están ubicadas principalmente en el Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca, así como en regiones de Zacatecas, Hidalgo, Veracruz, Puebla, Tamaulipas, Baja California, Baja California Sur, Yucatán, Chiapas, Chihuahua, Nuevo León, Sinaloa, y otras entidades federativas. Se sabe que por sus características ambientales, las zonas agrícolas, ganaderas y eriales son preferidas para la instalación de proyectos eoloeléctricos, en virtud de que la actividad de generación eoloeléctrica ha comprobado ser totalmente compatible con actividades de agricultura y ganadería y, además, porque las actividades agropecuarias ya implican, por sí mismas, la alteración sustantiva de la vegetación original y el consiguiente desplazamiento de la fauna; razón por la que la generación eoloeléctrica no implica impactos adicionales significativos en ese sentido. Asimismo, desde el punto de vista técnico y económico, para la instalación de centrales eoloeléctricas se prefieren terrenos planos lo que en cierta medida converge con lo anterior.

Por lo tanto, la gran mayoría de los proyectos eoloeléctricos que ahora se están formulando y gestionando en México, se ubican en zonas agrícolas, ganaderas, y eriales; siendo actualmente la de mayor interés el Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec, en Oaxaca, por su abundante recurso eólico, aunque también existe interés creciente por realizar proyectos eoloeléctricos en otras entidades federativas.

Por lo anterior, se anticipa que el desarrollo eoloeléctrico en México iniciará con el aprovechamiento del recurso eólico ubicado sobre zonas agrícolas, ganaderas y eriales, y por ello, la Dirección General de Energía y Actividades Extractivas de la Semarnat consideró conveniente y oportuno elaborar el proyecto de **Norma Oficial Mexicana que Establece las Especificaciones Técnicas para la Protección del Medio Ambiente Durante la Construcción, Operación y Abandono de Instalaciones Eoloeléctricas en Zonas Agrícolas, Ganaderas y Eriales**.

Para elaborar dicho *Proyecto de Norma*, la Dirección General de Energía y Actividades Extractivas de la Semarnat, conformó un Grupo de Trabajo en el que participaron representantes de varias dependencias de la Semarnat, así como representantes de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), de la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), de la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), del Gobierno del Estado de Oaxaca, de la Cámara Nacional de la Industria de Transformación (Canacintra), y del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav).

Para su elaboración se presentó un documento base al Grupo de Trabajo, realizado con información y antecedentes de otros países. El Proyecto de Norma contempla ser de observancia obligatoria en todo el Territorio Nacional, 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, aplicándose exclusivamente a zonas agrícolas, ganaderas y eriales, y requiriendo la presentación y evaluación de un Informe

Preventivo, mientras que para zonas de otra índole se mantendrá el requisito de presentación, evaluación y dictamen de una Manifestación de Impacto Ambiental.

Las siguientes secciones de este documento describen los resultados de la investigación que fue realizada en materia del posible impacto de las instalaciones eoloeléctricas sobre la avifauna y los murciélagos, incluyendo: la descripción de los procesos de migración y las rutas migratorias en México; indicadores de colisiones observadas en otros países; comparación del impacto de la generación eoloeléctrica con respecto a otros factores antropogénicos, descripción de los factores que de manera natural mitigan el posible impacto en zonas agrícolas, ganaderas y eriales; recomendaciones para mitigar los impactos, y recomendaciones para realizar estudios.

4 Indicadores de Colisiones de Avifauna y Murciélagos con Aerogeneradores

4.1 Avifauna

La generación eoloeléctrica se empezó a practicar de manera comercial en los años ochenta y desde entonces los especialistas se percataron de 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 eoloeléctrico (conocido en el ámbito internacional como *the California wind rush* – la premura eólica de California –). Como consecuencia, 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 generación de aerogeneradores (tecnológica y ambientalmente más maduros) que años después fue la base del desarrollo eoloeléctrico 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). Es en este sitio, y bajo esas circunstancias, donde 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 aviarias y cómo mitigarlas. Como consecuencia de estos estudios, se implementó un plan de mitigación de fatalidades aviarias, 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. 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 2 muestra las estimaciones de colisiones aviarias encontradas en algunos sitios eólicos en los Estados Unidos, donde se puede observar la baja incidencia de estos eventos (Erickson, *et al.*, 2002).

Tabla 2. Número estimado de colisiones aviares en algunos sitios eólicos 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	2.834	0.002
Foote Creek Rim, Wyoming	133	69	1.750	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/Staseline, Oregon y Washington	437	38	0.630	0.0
Wisconsin	31	31	No disponible	0.0
Subtotal	1,117	589	1.825	0.006
California				
Altamont Pass	~5,400	~7,340	No disponible	0.048
Montezuma Hills	600	600	No disponible	0.048
San Gorgonio	~2,900	2,900	2.307	0.010
Subtotal	8,900	10,840	2.307	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 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.

Tabla 3. 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	Passerinas protegidas	Otras	Aves no protegidas	No. de cadáveres
California											
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
Fuera de California											
Buffalo Ridge, Minnesota	400 ^b	5.5	9.1	1.8	1.8	0.0	5.5	72.7	0.0	3.6	55
Foote 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 Ruge, 2000), ^b (Erickson, *et al.*, 2002)

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, al menos en el ámbito de los Estados Unidos.

4.2 Murciélagos

Por otra parte, un tema relativamente nuevo que ha llamado la atención de asociaciones ecologistas y de la misma industria eólica, es el de fatalidades de murciélagos. 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 *Bat Conservation International*; el *Servicio de Pesca y Vida Silvestre de los Estados Unidos*, y los *Laboratorios Nacionales de Energía Renovable*. Mediante dichos estudios se espera encontrar 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 u 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 colocación 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 (Erickson *et al.*, 2001). 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, los murciélagos se alimentan (aunque también existen algunas especies aviares de hábitos nocturnos, como es el caso de algunos búhos). En forma similar a las aves, algunas especies de murciélagos también se encuentran dentro de cierta categoría de protección. La Tabla 4 muestra una estimación de las colisiones de murciélagos con aerogeneradores en los Estados Unidos.

Tabla 4. Número estimado de colisiones de murciélagos en sitios eólicos 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

Por otra parte, algunos estudios demostraron también que los murciélagos colisionan 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). 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 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).

De 1,447 colisiones de murciélagos en centrales eoloeléctricas, documentadas en los Estados Unidos, las especies identificadas fueron; murciélagos canosos (*Lasiurus cinereus*) abarcaron 45.5%, murciélagos rojos (*Lasiurus borealis*) abarcaron 26.2%, y los murciélagos plateados (*Lasiurus noctivagans*) abarcaron 11.3%. Las fatalidades restantes fueron principalmente para el murciélago pipistrello (*Pipistrellus subflavus*, 8.5%), para el pequeño murciélago marrón (*Myotis lucifugus*, 5.9%), y para el murciélago marrón grande (*Eptesicus fuscus*; 1.9%) (Johnson, 2004; Johnson, 2005). No obstante, también es importante tomar en cuenta la enorme cantidad de murciélagos que migran, cantidad que puede alcanzar millones (en la literatura aún no se ha estimado con precisión esta cifra), y las cantidades que afectadas por causa de otras actividades humanas, básicamente en explotación de minas que provoca pérdida de 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).

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.

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

5.1 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 aviones, los vehículos y otros numerosos objetos construidos por el ser humano. Los numerosos 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.

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, 2006). La Tabla 5 presenta las fatalidades ocasionadas por actividades y estructuras de origen humano, 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 aviares, ***las centrales eólicas serían responsables de únicamente 250 de éstas, lo cual representaría tan sólo el 2.5% del número total de fatalidades aviares ocasionada por objetos antropogénicos.***

Los números de la Tabla 5 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 aviares (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.

Tabla 5. Fatalidades aviares por actividades y estructuras de origen humano en los Estados Unidos

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

Fuentes: ^a Curry y Kerlinger, 2006; ^b Erickson, *et al.*, 2001.

5.2 Impacto de otras fuentes de energía

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, lo que representa 1,000 veces el total anual estimado de fatalidades en las centrales eoloeléctricas de California (AWEA, 2006).

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, trayendo como consecuencia que se debilite, incrementando 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).

5.3 Cambio climático

Durante los años noventa el cambio climático aparece como una de las grandes amenazas potenciales a la diversidad biológica. 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 composición 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.

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 cuales interactúa en los ecosistemas; por ejemplo, las aves migratorias (tanto acuáticas como no acuáticas).

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 particular. 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 antropogénica 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 antropogénicas.

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 Kyoto), considerando el mayor uso de fuentes alternas de energía que pueden mitigar el cambio climático (como la eólica).

6 Modificación y pérdida del hábitat

Otra posible afectación a la avifauna es aquella ocasionada por la pérdida de su hábitat. A pesar de que los aerogeneradores estén emplazados cuidadosamente (alejados de áreas turísticas, de zonas con alta densidad de población y de belleza escénica), las centrales eoloeléctricas tienden a ocasionar un impacto modesto y localizado sobre el ambiente local. La pérdida de hábitat y de vegetación disponible para la avifauna puede ocurrir como resultado de la presencia humana y de maquinaria, durante el proceso de construcción de: 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, 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.

A pesar de lo anterior, una de las grandes bondades de las centrales eoloeléctricas es que hacen uso del suelo en una manera poco intensiva (aproximadamente 0.06 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 1% de la superficie total de extensión de la central eoloeléctrica. Esto hace que la superficie que resta entre las turbinas pueda ser utilizada para otras actividades. Además, 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.

Una vez más se hace notar aquí la importancia de propiciar y fomentar el uso de zonas agrícolas, ganaderas y eriales, 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 áreas agrícolas, ganaderas y eriales en el hábitat local sería mínimo. Además, el proyecto de Norma contempla en su contenido

acciones adicionales para la protección del hábitat donde se construyan y operen las centrales eoloeléctricas, e inclusive durante el abandono del sitio, como son: respetar árboles, arbustos y herbáceas; prohibir el vertido de sustancias tóxicas o peligrosas; la construcción de caminos, así como el llevar a cabo acciones revegetativas.

7 Procesos de Migración

7.1 Migración de Avifauna

El hábito de migrar fue adquirido tras un proceso evolutivo que llevó millones de años. 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 alimenticio. 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 ontogenéticos (Kennedy, 1985).

En general, son desplazamientos de un área de reproducción a un área cálida donde pasarán el invierno. 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 el otoño e invierno por México. Su paso por nuestro país se inicia a finales de agosto y principios de septiembre, 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 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 (Eymlyen, 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, 2004). Las principales rutas migratorias en América se presentan en la Figura 2.



Figura 2. Principales Rutas Migratorias en América (Gurrola, 2004)

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. Muchas veces, las rutas migratorias cruzan grandes extensiones de agua y las aves no se detienen a comer hasta que llegan a su destino, por lo que durante el viaje pierden a veces hasta la mitad de su peso. 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.

Entre septiembre y abril de cada año es frecuente observar diferentes especies de aves que llegan o pasan por territorio mexicano. Algunas aves no hacen ninguna pausa en el transcurso de su viaje. 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, aguilillas, playeros, costureros, chorlitos, falaropos, zarapitos, vuelvepedras); otros grupos prefieren bosques y selvas (colibríes, rapaces, búhos, golondrinas, cazamoscas, hojarasqueros, vireos y chipes).

La altura a la que se mueven las aves migratorias es generalmente entre 100 y 1,500 ó hasta el extremo de los 10,000 m, algunas pueden volar cerca del nivel del mar, tal como algunos gansos y patos (Berthold, 1993; Navarro y Benítez , 1995).

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, 1993; 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).

7.2 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)

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. Los murciélagos desempeñan un papel importante en la polinización y la dispersión de las semillas de plantas. La Tabla 6 contiene un listado de algunas especies de murciélagos migratorios en el continente americano.

Tabla 6. Especies de murciélagos migratorios en América

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

8 Factores que mitigan de manera natural el riesgo de colisión de aves migratorias, residentes y murciélagos, en zonas agrícolas, ganaderas, o eriales.

En esta sección se enfatizan los factores que pueden mitigar, de manera natural, el riesgo de colisión de aves migratorias, residentes y murciélagos, en zonas agrícolas, ganaderas y eriales; con el propósito de hacer evidente que la generación eoloeléctrica en dichas zonas implica menor riesgo ambiental que en otras zonas.

8.1 Aves migratorias

- **Dos terceras partes de las aves se desplazan durante la noche y vuelan tan alto que es difícil percibir las a simple vista** (Eymlen, 1975; Dingle, 1995; Navarro y Benítez, 1995).

Por inicio, lo anterior indica que para cerca de dos terceras partes de las aves que migran no existe la posibilidad de colisión con los aerogeneradores debido a su considerable altura de vuelo.

- **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, vuelvepiedras); otros grupos prefieren bosques y selvas (colibríes, rapaces, búhos, golondrinas, cazamoscas, hojarasqueros, vireos y chipes) (Gurrola, 2004).**

Por lo anterior, es evidente que la gran mayoría de las especies de aves migratorias no se concentran en zonas agrícolas, ganaderas o eriales, cuya degradación ambiental previa ha hecho que el alimento para las aves migratorias en esas zonas sea escaso.

- **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 terrenos agrícolas, ganaderos y eriales, ubicados sobre rutas de aves migratorias se pueden mitigar considerablemente las posibles colisiones aviarias cuidando la altura de los aerogeneradores que se instalen, así como sus diámetros, en función de estudios previos en los que se determine la altura típica de vuelo de las aves sobre los terrenos específicos en los que se planea instalar una central eoloeléctrica.

- **Las aves que van al Sur o regresan al Norte establecen direcciones muy precisas. 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).**

Lo anterior indica que las rutas de aves migratorias se pueden establecer con cierta precisión y que por lo tanto, es posible identificar aquellos predios específicos, dentro de zonas agrícolas, ganaderas y eriales, en los que pudiera haber mayor riesgo, 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, también es posible incrementar las medidas de vigilancia en el período crítico y, de ser necesario, tomar medidas operativas que mitiguen las colisiones aviarias con los aerogeneradores ya instalados.

- **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).**

Lo anterior indica que durante la fase operativa de las centrales eoloelectricas es muy importante cuantificar y clasificar las posibles fatalidades de aves migratorias y ubicar dicha cantidad y clasificación en una perspectiva realista que relacione el número de fatalidades con la enorme cantidad de aves que vuelan por encima de los aerogeneradores y que no sufren daño alguno. Asimismo, es importante determinar las causas de las posibles colisiones, por ejemplo, ¿Se trata de aves enfermas o viejas que se alejaron de las parvadas porque no resistieron el gran esfuerzo que les exige la migración? ¿Bajaron por la presencia de algún animal muerto cuyo cadáver no fue dispuesto oportunamente?. De ahí, se puede contar con información que permita informar adecuadamente al público y contrarrestar cualquier exageración y/o declaración infundada.

8.2 Aves residentes

- **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, 2006).**

Por inicio, los estudios indican que se ha encontrado bajo impacto sobre aves residentes. Por razones obvias, en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, existe poca vegetación alta y, por lo tanto, el hábitat de las aves residentes ya fue desplazado de manera importante. Por ello, la población de aves residentes en estas zonas puede ser relativamente baja al compararse con la población existente en zonas de otra índole.

- **Típicamente, las alturas de vuelo de las aves residentes son relativamente bajas y van de 4 a 52⁴ metros de altura sobre el terreno (POWIWD-V. 2005).**

Por inicio, esto indica que cuidando las alturas a las que se instalen los aerogeneradores y el diámetro de sus rotores, en función del resultado de estudios previos en los que se determinen las alturas típicas de vuelo de las aves residentes, se podría reducir aún más la probabilidad de colisión de aves residentes con aerogeneradores.

8.3 Murciélagos

Como en el caso de la avifauna existen factores que pueden mitigar de manera natural el riesgo de colisión de murciélagos, en zonas agrícolas, ganaderas y eriales; con el propósito de hacer evidente que la generación eoloelectrica en dichas zonas implica

⁴ De acuerdo al documento citado el 73% de las aves residentes observadas en Altamont pass vuelan en este rango de altura.

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 *“apagan”* este sistema como un método de ahorro energético, durante los largos y demandantes vuelos de migración (POWIWD-V, 2005, Sagrillo, 2006).

A continuación se enlistan algunos de los factores que de forma natural podrían disminuir los riesgos de colisión de murciélagos con los aerogeneradores instalados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.

- **Las tasas de mortalidad de murciélagos, generalmente, son altas 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 la gran cantidad de alimento disponible en estas zonas. Por lo que, tomando en cuenta que las zonas agrícolas, ganaderas y eriales son áreas abiertas, se podría esperar una menor incidencia de mortalidad de murciélagos en las centrales eoloeléctricas instaladas en estas zonas, por lo que una vez más se refuerza la aseveración de que estas zonas son propicias para la instalación de este tipo de centrales.

- **La mayoría de las fatalidades de murciélagos ocurrieron en el período de 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 los hábitos y rutas migratorias para murciélagos en México, aún no se encuentran perfectamente definidos, como en el caso de la avifauna, en forma general es posible identificar aquellos sitios específicos, dentro de zonas agrícolas, ganaderas y eriales, donde pueda existir 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 vigilancia en el período crítico y, al igual que la situación de protección de aves migratorias, tomar medidas en la operación de las centrales eoloeléctricas, que mitiguen las posibles colisiones de los murciélagos en tránsito.

9 Recomendaciones generales para minimizar las colisiones de avifauna y murciélagos con aerogeneradores en zonas agrícolas ganaderas y eriales.

9.1 Selección de sitios

La selección del sitio específico donde se va a instalar una central eoloelectrica es un paso importante y debe ser la primera consideración para evitar impactos ambientales adversos y en particular las colisiones aviares. Es conveniente dar preferencia a sitios que ya han sido degradados por causas naturales o actividades humanas, tales como agricultura y ganadería y por lo tanto evitar el uso de áreas naturales protegidas. (Kingsley and Whittam, 2003; Langston y Pullan, 2004). Por razones obvias, también es conveniente dar preferencia a zonas eriales.

El proceso de selección del área específica para el posible emplazamiento de una instalación eoloelectrica en zonas agrícolas, ganaderas y eriales, así como la ubicación precisa de los aerogeneradores, debe considerar información tanto a nivel regional como local.

Algunas buenas prácticas para seleccionar sitios con menor riesgo en las zonas agrícolas, ganaderas y eriales, son:

1. Dar prioridad a sitios donde existe menor cantidad de aves, o en su caso, que es utilizada en menor proporción por las especies (Kingsley and Whittam, 2003; Langston y Pullan, 2004).
2. Evitar utilizar sitios donde existan especies protegidas por las leyes nacionales o internacionales o en áreas con un hábitat crítico para una especie protegida (Kingsley and Whittam, 2003; Langston y Pullan, 2004). 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 altura). En tales casos, se considera que los emplazamientos de instalaciones eoloelectricas en estos sitios pueden ser ambientalmente viables, siempre y cuando los patrones de vuelo de las aves protegidas sean determinados con la precisión adecuada.

9.2 Distanciamiento de aerogeneradores

Otra de las consideraciones mencionadas en la literatura analizada, es aquella relacionada con 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). Una recomendación hecha 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 nuevas

centrales eoloelectricas (como sería el caso de México) tienen diámetros mayores que 50 metros (ver Tabla 7), por lo que atendiendo a las buenas prácticas de ingeniería para evitar *efectos de estela*⁵ 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. Así, la distancia mínima en sitios con vientos no unidireccionales sería **250 metros**, mientras que en áreas con vientos unidireccionales sería **500 metros**, como mínimo. Por lo tanto, implícitamente, la ingeniería de planta generará una configuración adecuada. Lo anterior, exclusivamente con relación a la distancia entre aerogeneradores en sentido paralelo a la dirección del viento.

El proyecto de Norma ha considerado este lineamiento y en sus disposiciones establece que entre centros de las torres de los aerogeneradores debe existir una distancia mínima de **10 veces el diámetro del rotor de mayor tamaño**, para el caso de vientos unidireccionales y de **5 veces el diámetro del rotor de mayor tamaño**, para vientos no unidireccionales. Esto es para el caso de dirección paralela al viento. Respecto a la dirección perpendicular al viento el proyecto de Norma considera una distancia de dos veces el diámetro del rotor de mayor tamaño.

Respecto a la dirección perpendicular a la velocidad del viento, las buenas prácticas de ingeniería de planta conducen a 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 conduce a separaciones que van de dos a tres diámetros. Así, 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 ello, es muy importante que los diseñadores de centrales eoloelectricas, especialmente en áreas con vientos unidireccionales (como es el caso del Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec), prevean el riesgo de colisión de aves y murciélagos (de acuerdo con los estudios previos) y que lo tomen muy en cuenta en el diseño del distanciamiento de los aerogeneradores en el sentido perpendicular a los vientos dominantes, con el fin de que, de ser necesario, incrementen dicha distancia.

⁵ Disminución de la potencia del viento y turbulencia cuándo éste ya ha pasado por el área de barrido de un rotor

Tabla 7. Tamaño y potencia de aerogeneradores de cuatro de los principales fabricantes mundiales

Fabricante	Potencia ^a (kW)	Diámetro (metros)
Vestas (Dinamarca)	850	52
Gamesa (España)	850	52
GE Energy (Estados Unidos)	1,500	70.5
Siemens (Alemania)	1,300	62

Fuentes: Páginas de Internet de los fabricantes.

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

9.3 Ensayo y validación de métodos y técnicas de mitigación

Independientemente de que la magnitud del impacto previsto sea significativo o no, es conveniente ensayar y validar diversos métodos orientados a mitigar, o evitar del todo, las posibles colisiones aviares y de murciélagos con los aerogeneradores. Hasta ahora, algunos investigadores han propuesto diversas técnicas incluyendo patrones de pintado en rotores y emisión de sonidos. Desgraciadamente, aún no existen evidencias de que las técnicas propuestas sean efectivas y, en algunos casos las conclusiones de los investigadores son hasta cierto punto desalentadoras. En el Anexo A de este documento se describen los principales métodos que hasta ahora se han ensayado en laboratorio. Al respecto, se considera que actualmente el desarrollo de una técnica (o combinación de ellas) que evite las posibles colisiones aviares y de los murciélagos con los aerogeneradores, es uno de los principales retos de la industria eoloeléctrica, en virtud de que dicho logro haría que la generación eoloeléctrica sea aún más amigable con el medio ambiente.

10 Recomendaciones generales con relación a estudios sobre avifauna y murciélagos para seleccionar sitios para instalaciones eoloeléctricas en zonas agrícolas, ganaderas, o eriales.

La información básica que se debe tomar 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 los murciélagos es:

- Especies y clasificación
- 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

Para recopilar esta información existen los métodos tradicionales de observación ornitológica que incluyen:

- Puntos de conteo
- Método de transecto
- Método de censo

Asimismo, existen nuevas tecnologías que usadas en conjunto, o por separado, están facilitando la adquisición de dicha información, entre ellas:

- 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.

Aplicando los métodos adecuados, toda la información recabada será de gran utilidad para seleccionar las áreas de menor riesgo, así como para ubicar de manera precisa los aerogeneradores y para seleccionar su altura de instalación, los diámetros de sus rotores y la separación entre las máquinas. Con ello, se puede establecer un escenario previo y estimar el posible impacto, así como anticipar medidas de mitigación adicionales a ejecutar en caso de que llegara a ser necesario durante la fase operativa.

El conocimiento del escenario previo y su seguimiento durante la fase operativa es necesario, 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.

11 Postura oficial de algunas organizaciones protectoras de aves

11.1 *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 eoloeléctricas, 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 eoloeléctricas. 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 International* 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 sobretodo 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 suscaso zonas eriales*** (Langston y Pullan, 2004).

11.2 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 eoloeléctricas 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 eoloeléctricas en sitios con altas poblaciones de aves rapaces, como fue el caso de Altamont, California.

En ***Peregrine Fund*** consideran 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.

En conclusión, se puede decir que tanto *BirdLife International*, como *Peregrine Fund* reconocen las bondades 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.

12 Conclusiones y recomendaciones

- En términos generales, se considera que el proyecto de **Norma Oficial Mexicana que Establece las Especificaciones Técnicas para la Protección del Medio Ambiente Durante la Construcción, Operación y Abandono de Instalaciones Eoloeléctricas en Zonas Agrícolas, Ganaderas y Eriales**, es una iniciativa valiosa de la Dirección General de Energía y Actividades Extractivas ya que, por una parte, considera que la generación eoloeléctrica es un elemento importante para la diversificación energética en el contexto del desarrollo sustentable del País, y por la otra, lo orienta (implícitamente) a las zonas agrícolas, ganaderas, y eriales que son las de menor riesgo ambiental.
- Se considera que, implícitamente, la Norma, propiciará el inicio de un 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.
- Durante el desarrollo de este estudio se encontró que existen factores que mitigan, de manera natural, la colisión de aves y murciélagos con aerogeneradores, en **zonas agrícolas, ganaderas y eriales**. Asimismo, se encontró que en estas zonas, realizando estudios previos para la adecuada selección de áreas y sitios específicos para la instalación de aerogeneradores, el posible impacto se podría minimizar.
- Aunado a lo anterior, se encontró que actualmente existe investigación en 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 logrado, no se puede descartar la posibilidad de que surja un método o la combinación de varios que resulten efectivos y acaben con el problema. Al respecto, se considera que la prueba y validación de estos métodos y técnicas en centrales operativas puede ser relevante.

- Se hace notar que en cuanto a normatividad ambiental para el aprovechamiento de la energía eólica, México es el país pionero al 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 y *buenas prácticas*.
- El proyecto de Norma incluye lineamientos específicos para mitigar posibles impactos relativos a colisiones aviarias, uso suelo, ruido, intrusión visual, y otros que en cierta medida pueden ser comunes con proyectos de otra índole, como lo es el manejo y disposición de residuos.

Por ejemplo:

- Establece distancias mínimas entre aerogeneradores, en función de los diámetros de sus rotores, para reducir la probabilidad de colisiones aviarias y de murciélagos, a la vez que cuida el aspecto de uso del suelo.
 - Establece el uso de torres tubulares para la instalación de aerogeneradores, lo cual mitiga el posible impacto relativo a colisiones aviarias (es decir, no se permite el uso de torres tipo celosía que pueden ser utilizadas por las aves para perche), a la vez que cuida el aspecto de intrusión visual.
 - Establece que la línea eléctrica de recolección debe ser subterránea, lo cual también mitiga el posible impacto relativo a colisiones aviarias, a la vez que también cuida el aspecto de intrusión visual.
 - Establece que sólo se deberán usar aerogeneradores de tres álabes, lo que mitiga la intrusión visual.
- Al igual que está sucediendo en otros países, el conocimiento profundo respecto a la adecuada relación aves-aerogeneradores y murciélagos-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 eoloelectrónicos y su propio diseño. Después, mediante el seguimiento ambiental en la fase operativa, se podrá determinar si los posibles impactos previstos (obviamente de nivel aceptable) fueron correctos y/o si las medidas de mitigación implantadas fueron exitosas. De lo contrario, se tendrán que implantar nuevas medidas de mitigación y evaluarlas, constituyéndose así una curva de aprendizaje específica para el ámbito local. Por lo anterior, se considera que la Norma, una vez que sea establecida debe quedar sujeta a un proceso de seguimiento y mejora continua que incorpore las nuevas experiencias y el nuevo conocimiento, a fin de lograr la mayor relación beneficio-costos de la generación eoloelectrónica en materia ambiental.

- Todo lo anterior indica que, para zonas agrícolas, ganaderas, o eriales, la suma de:
 - Los factores de mitigación natural,
 - Los estudios previos adecuados,
 - La adecuada selección de áreas y sitios específicos para la instalación de aerogeneradores,
 - La adecuada selección de las alturas de instalación y diámetro de rotores,
 - Las medidas obligatorias que establece el Proyecto de Norma, y
 - Las medidas de mitigación en casos de contingencia;

hace ambientalmente factible que la generación eoloeléctrica se lleve a cabo en dichas zonas con un posible impacto muy poco significativo sobre las aves migratorias y los murciélagos.

- Se hace notar que el proyecto de Norma es congruente con la posición de prestigiadas organizaciones internacionales protectores de aves (*Bird Life International* y *The Peregrine Fund*), en virtud de que tanto *Bird Life International*, como *The Peregrine Fund* reconocen las bondades 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. Asimismo, *Bird Life International* afirma 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 y ganadería.**
- Asimismo, se considera que el Proyecto de Norma es congruente con el proceso lógico que la humanidad ha llevado a cabo a través de la historia en materia de la relación desarrollo industrial-preservación del medio ambiente, en virtud de que la Norma recoge las experiencias previas en otros países, establece lineamientos específicos que evitan efectos adversos ambientales conocidos y bien acotados, y abre el camino para que se alcance el conocimiento profundo y la mejora continua.
- Se detectó que el caso crítico para el distanciamiento de aerogeneradores en materia de su posible impacto sobre la avifauna y los murciélagos es el de su separación en la dirección perpendicular a los vientos dominantes, especialmente para el caso de áreas con vientos unidireccionales. Al respecto, **se recomienda** modificar el inciso 4.2.14 del proyecto de Norma de acuerdo con el siguiente texto, mismo que mantiene las distancias acordadas en el seno del Grupo de Trabajo de la Norma, pero que agrega que éstas se deberán incrementar para que las filas de los aerogeneradores no constituyan una barrera para el tránsito de las aves y los murciélagos, cuando el área en consideración, de acuerdo con los estudios previos, sea de relativa importancia para el tránsito de aves y murciélagos.

4.2.14 Con el fin de que las instalaciones eoloelectricas no afecten más terreno del necesario, que se incremente su compatibilidad con el uso del suelo para actividades agrícolas y ganaderas y para reducir la interacción entre ellos y no constituirse en una barrera para el paso de las aves y de los murciélagos en áreas relativamente importantes al respecto, se debe cumplir con lo siguiente:

a).- En áreas con vientos unidireccionales, la separación entre los centros de las torres de aerogeneradores contiguos en el sentido perpendicular a la dirección de los vientos dominantes, o la separación de hileras de aerogeneradores, no deberá ser menor que una distancia igual a dos veces el diámetro del rotor de los aerogeneradores, tomando como base de cálculo el aerogenerador de mayor diámetro; siempre y cuando los estudios previos indiquen que el área no es relativamente importante para el tránsito de aves y murciélagos. De lo contrario, la separación mínima deberá ser incrementada de tal forma que las filas de aerogeneradores no constituyan una barrera para el tránsito de las aves y los murciélagos. La separación entre los centros de las torres de aerogeneradores contiguos en el sentido paralelo a la dirección de los vientos dominantes, o la separación de filas de aerogeneradores, no deberá ser menor que una distancia igual a diez veces el diámetro del rotor de los aerogeneradores, tomando como base de cálculo el aerogenerador de mayor diámetro. Para dicho fin, se deben considerar como áreas con vientos unidireccionales aquellas en las que en una base anual, la frecuencia de ocurrencia de la dirección del viento sea mayor o igual que 60% para un sector de dirección geográfica de 45°; o bien, que la suma de la frecuencia de ocurrencia de la dirección del viento para dos sectores geográficos contiguos de 45° sea mayor o igual que 60%.

b).- En áreas con vientos no unidireccionales, la separación entre los centros de las torres de aerogeneradores contiguos en el sentido perpendicular a la dirección de los vientos dominantes, o la separación de hileras de aerogeneradores, no deberá ser menor que una distancia igual a dos veces el diámetro del rotor de los aerogeneradores, tomando como base de cálculo el aerogenerador de mayor diámetro; siempre y cuando los estudios previos indiquen que el área no es relativamente importante para el tránsito de aves y murciélagos. De lo contrario, la separación mínima deberá ser incrementada de tal forma que las filas de aerogeneradores no constituyan una barrera para el tránsito de las aves y los murciélagos. La separación entre los centros de las torres de aerogeneradores contiguos en el sentido paralelo a la dirección de los vientos dominantes, o la separación de filas de aerogeneradores, no deberá ser menor que una distancia igual a cinco veces el diámetro del rotor de los aerogeneradores, tomando como base de cálculo el aerogenerador de mayor diámetro. Para dicho fin, se deben considerar como áreas con vientos no unidireccionales aquellas en las que en una base anual, la frecuencia de ocurrencia de la dirección del viento no sea mayor o igual que 60% para cualquier sector de dirección geográfica de 45°; o bien, que la suma de la

frecuencia de ocurrencia de la dirección del viento para dos sectores geográficos contiguos de 45° no sea mayor que 60%.

c.- Para cualquiera de los dos casos anteriores se deben considerar sectores geográficos de 45° con centro en las direcciones Norte, Noreste, Este, Sureste, Sur, Suroeste, Oeste y Noroeste.

d.- Para cualquiera de los casos anteriores, cuando existan instalaciones eoloeléctricas ya construidas o cuando éstas estén en proceso de construcción (tomando en cuenta que el proceso de construcción incluye la construcción de caminos de servicio y/o de cimentaciones de los aerogeneradores), se atribuirá el incumplimiento de este requisito a quien pretenda instalar o instale aerogeneradores que no cumplan con las distancias establecidas en los incisos a) y b) de este numeral, con respecto a las instalaciones eoloeléctricas ya construidas o en proceso de construcción.

e.- Las distancias establecidas en los incisos a) y b) y, por consecuencia lo establecido en el inciso d) de este numeral, no aplican para instalaciones eoloeléctricas del tipo no interconectadas a la red eléctrica convencional y/o cuando el diámetro de los aerogeneradores que las integren sea menor que 20 metros.

- Finalmente, **se recomienda** que el proyecto de Norma incluya dentro los incisos correspondientes, a las especies de murciélagos migratorias y locales. Por ejemplo, dentro del inciso e) del Anexo A, para el Informe Preventivo se puede incluir dentro de la descripción de la fauna, a las especies de murciélagos con los mismos parámetros descritos para las aves.

13 Referencias

- 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 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>.
- 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.
- 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.
- 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 Abril de 2006. <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.
- 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.
- 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
- Eymlen, S.T. (1975). Migration: Orientation and Navigation. pp. 129-219. en *Avian Biology* vol. 5. Academic Press.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. (2006). *Global Wind 2005 Report.* Brussels Belgium. Recurso electrónico obtenido en Abril de 2006. <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.
- 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.

- 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.
- Murciélagos (2006). Recurso electrónico obtenido en Julio de 2006.
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/329/murcielagos.html>
- Hutson, A.M., Mickleburgh, S.P. y Racey, P.A. (2001). *Microchiropteran Bats – global status survey and conservation action plan*. IUCN, Gland. 259pp.
- 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.
- Kennedy, J.S. (1985). *Migration, behavioral and ecological. Pp 5-26 in: Migration: Mechanisms and Adaptive 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 Mountaineer Wind Energy Center, Tucker County, West Virginia: annual report for 2003. Technical report prepared by Curry and Kerlinger, LLC. for FPL Energy and Mountaineer Wind Energy 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.
- 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.
- Mickleburgh, S.P., Hutson, A.M. y Racey, P.A. (1992). *Old World Fruit Bats – An Action Plan for their Conservation.* IUCN, Gland. 252pp.
- 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.

- 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.
- 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 Junio de 2006. 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.
- Sener (Secretaría de Energía) (2005) *Prospectiva del Sector Eléctrico 2004-2013*: 92
- 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.
- 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.

ANEXO A: Métodos y tecnologías propuestas por varios investigadores para mitigar las colisiones de avifauna con aerogeneradores

Introducción

Una parte de la investigación y desarrollo tecnológico de la industria eólica está siendo enfocado hacia el desarrollo de métodos para minimizar las colisiones aviares. 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. 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, pero aún se desconoce su efectividad al aplicarlos en condiciones naturales no controladas. A continuación se presenta una breve descripción de algunos de estos métodos propuestos para mitigar las colisiones aviares.

1.- Métodos visuales

Patrones de pintado

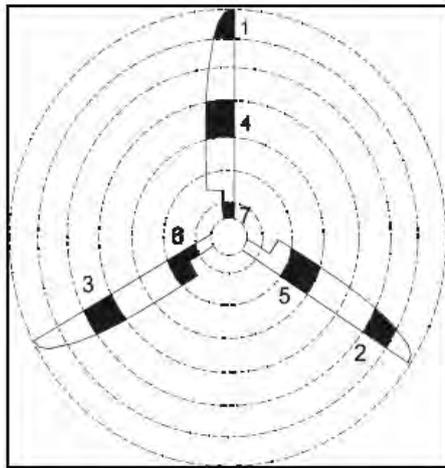
Se han llevado a cabo estudios (Hodos, 2002; Potocki y Gaffney, 2000) los cuales han analizado en laboratorio la óptica fisiológica y la psicofísica animal, así como la electrofisiología de la retina de algunas aves para entender las posibles causas de colisiones de la avifauna. Las colisiones de aves 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 del animal) 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 consiguiente, el ave interpreta que no existe ningún obstáculo e intuye que es un área segura de vuelo. Este fenómeno también es percibido por el ser humano y es conocido como “*falta de definición de movimiento*” (Potocki y Gaffney, 2000).

Así, la posibilidad de colisión existe, aunque no necesariamente es inminente en virtud de que el álabe del rotor del aerogenerador está en movimiento y entonces, la colisión se puede dar sólo por una coincidencia fatal entre la velocidad de vuelo del ave (expresada como vector en magnitud y dirección) y la velocidad del álabe del aerogenerador (también expresada como vector en magnitud y dirección).

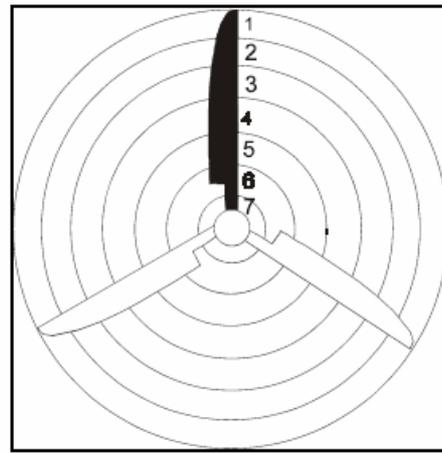
Dicho fenómeno es más evidente en las puntas de los álabes de los aerogeneradores girando a velocidades mayores a 35 RPM (Potocki y Gaffney, 2000). Las zonas centrales de los álabes no sufren dicho fenómeno por su menor velocidad tangencial. Debido a que todo el álabe gira a la misma velocidad rotacional, parece ser que la variable determinante es la velocidad tangencial de las puntas del álabe. Dicha velocidad es la que limita la 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. Por ello, es posible que un ave pueda pasar entre el área de barrido del rotor de un aerogenerador en movimiento, a medida que la trayectoria de vuelo es más cercana al centro del rotor y más lejana a la punta del aspa.

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 A1. Varios de estos patrones aumentaron efectivamente la visibilidad de los álabes girando. Sin embargo, sobre cierta velocidad también perdieron su visibilidad y se volvieron parcialmente invisibles para las aves a cierta distancia. 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.



Pintado alterno de franjas



Un solo ábalo totalmente pintado de negro

Figura A1. Dos patrones de Pintado propuestos para álabes de aerogeneradores (Potocki y Gaffney, 2000)

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 con el 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 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 (Young, et. al, 2003). Algunas investigaciones han sugerido que las aves pueden ser más sensibles a la luz UV que a la luz visible (Young, et. al, 2003). 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.

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 que en la comparación estadística hecha en el estudio (Young, et.al, 2003).

2.- Dispositivos y métodos sonoros en los aerogeneradores

Una de las posibles soluciones propuestas para disminuir las posibles colisiones aviares 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 con el documento, existen diversas versiones relacionadas con la capacidad auditiva de las aves; por ejemplo, se dice 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 sí 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, aún no se encuentra totalmente comprobada.

Por lo anterior, se puede decir que de acuerdo a los estudios hasta ahora realizados, el uso de dispositivos sonoros o de métodos visuales aún no ha demostrado ser una medida efectiva de mitigación de colisiones de aves con aerogeneradores. Sin embargo, tampoco se puede descartar que nuevas versiones o técnicas puedan ser efectivas, por lo que el seguimiento detallado de futuros esfuerzos en este sentido es muy importante.

Anexo B: Listado de sitios útiles en Internet

<i>Institución/tema/organización</i>	<i>Sitio en Internet</i>
<i>Global Wind Energy Council, GWEC</i>	http://www.gwec.net/
<i>American Wind Energy Association</i>	http://www.awea.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 Comitte</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>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/eololectricas.htm?Combo=eoloelectricas
<i>Página del Plan Eólico, Instituto de Investigaciones Eléctricas</i>	http://planeolico.iie.org.mx/iiepnud.htm