



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL

**“PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN Y MITIGACIÓN DEL IMPACTO DE
LOS PARQUES EÓLICOS SOBRE LA QUIROPTEROFAUNA: CASO DE
ESTUDIO SIERRA DE JUÁREZ, BAJA CALIFORNIA”**

Trabajo Terminal

Que para obtener el diploma de
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN AMBIENTAL

Presenta

Minerva Ángela Uribe Rivera

Ensenada, Baja California

Julio, 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

Trabajo final

“Propuesta para la evaluación y mitigación del impacto de los parques eólicos sobre la quiropterofauna: Caso de estudio Sierra de Juárez, Baja California”

Que para obtener el diploma de
Especialidad en Gestión Ambiental

Presenta

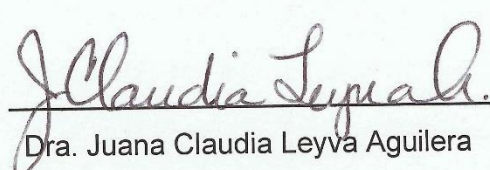
Minerva Ángela Uribe Rivera

Aprobado por:



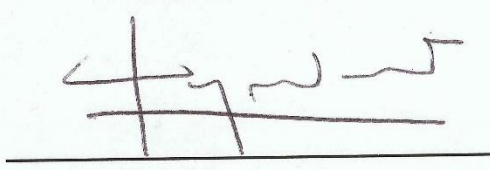
M.C. Aldo Antonio Guevara Carrizales

Director



Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera

Sinodal



M.C. Carlos Peynador Sánchez

Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma de Baja California por abrirme las puertas para realizar este posgrado, así como a todos los profesores que fueron parte de mi formación.

A Conacyt por brindarme el apoyo para poder llevar a cabo mis estudios.

A mi director de tesina M.C. Aldo Antonio Guevara Carrizales, mi co – directora Dra. Juana Claudia Leyva Aguilera y sinodal M.C. Carlos Peynador Sácncnez, por guiarme en la elaboración de este trabajo.

A mi familia y amigos que también me ayudaron durante esta etapa.

RESUMEN

Palabras clave: murciélagos, energía eólica, conservación, aerogeneradores.

La contaminación producida por el consumo de combustibles fósiles y la preocupación por el calentamiento global han promovido el auge de algunas energías alternativas como la energía eólica. En México, el Estado de Baja California, por las características de sus vientos, cuenta con un elevado potencial eólico, especialmente en áreas de La Sierra de Juárez, como La Rumorosa.

La energía eólica es considerada como una de las fuentes energéticas alternas que menos efectos adversos tiene para el ambiente, sin embargo en el caso de la vida silvestre, afecta principalmente a las aves y a los murciélagos. En los murciélagos, el impacto ocasionado puede ser *indirecto*, cuando existe una modificación en sus hábitos para obtener alimento, alteraciones en sus actividades reproductivas y modificación en los patrones de migración y *directo*; cuando existen muertes por colisión con las aspas de las turbinas, torres meteorológicas y cables de soporte, así como lesiones físicas en distintos grados.

Debido a que en el estado de Baja California se distribuyen diversas especies de quirópteros y que se planea la instalación de nuevos parques eólicos, resulta importante llevar a cabo estudios previos para una adecuada evaluación del impacto sobre estas especies. Por tal motivo, el presente trabajo tiene como objetivo identificar las especies de murciélagos que pueden ser afectadas por los aerogeneradores en Baja California, así como documentar las condiciones ambientales y los elementos de infraestructura de los parques eólicos asociados con la mortalidad de los quirópteros y con esto proponer una serie de recomendaciones para evaluar y mitigar el impacto de los parques eólicos en la quiropterofauna en la Sierra de Juárez.

Para cumplir con los objetivos establecidos, se buscaron los registros de murciélagos para la Sierra de Juárez, en colecciones científicas y museos y se consultó literatura especializada sobre la distribución potencial de los quirópteros en la zona. También se buscó literatura sobre las condiciones ambientales y elementos de infraestructura de los parques eólicos relacionados con la mortalidad de los murciélagos.

Como resultados se encontró que de las 20 especies de murciélagos registradas en Baja California, cinco tienen mayor riesgo de ser afectadas por los aerogeneradores y tres de éstas se distribuyen también en Sierra de Juárez. Se recomienda realizar estudios previos de las áreas propuestas para proyectos eólicos, que contengan la información necesaria de las especies y del hábitat para realizar una adecuada evaluación del impacto ambiental y poder establecer medidas de prevención y mitigación.

Finalmente, aunque todavía existen dudas sobre las causas de colisión de los murciélagos, con la información existente es posible establecer medidas de prevención y mitigación. Las medidas de mitigación pre – operativas se deben enfocar en una adecuada selección del sitio, la ubicación de los aerogeneradores y el uso de infraestructura que minimice los impactos.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	8
II.	ANTECEDENTES	9
	II.1 Importancia de la energía eólica en México	9
	II.2 Importancia de la energía eólica en Baja California.....	10
	II.3 Efectos adversos de la energía eólica.....	10
	II.3.1 Impactos sobre la fauna	11
	II.4 Importancia de la quiropteroфаuna en México	12
	II.5 Evaluación de impacto ambiental en México	13
	II.5.1 Problemática en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)	15
III.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	17
IV.	OBJETIVOS	21
	IV.1 Objetivo general	21
	IV.2 Objetivos específicos.....	21
V.	METODOLOGÍA	21
VI.	RESULTADOS.....	22
	VI.1 Quiropteroфаuna de Baja California	22
	VI.1.2 Especies de murciélagos que pueden ser afectadas por los aerogeneradores en Baja California	28
	VI.2 Factores asociados con la mortalidad de los murciélagos en los parques eólicos .	29
	VI.2.1 Características biológicas de especies susceptibles	29
	VI.2.2 Condiciones ambientales.....	32
	VI.2.3 Elementos de infraestructura de los parques eólicos	36
VII.	RECOMENDACIONES PARA EVALUAR Y MITIGAR EL IMPACTO DE LOS PARQUES EÓLICOS	40
	VII.1 Recomendaciones preoperativas	40
	VII.1.1. Consulta de la información existente sobre el área	40
	VII.1.2. Estudios de reconocimiento.....	41
	VII.1.3. Evaluación de los impactos	50
	VII.1.4. Clasificación del área propuesta	54
	VII.2 Recomendaciones durante la operación.....	56
	VII.2.1 Evaluación de los impactos.....	56
	VII.2.2. Seguimiento a las especies	57
	VII.3 Medidas de mitigación pre – operativas	60

VII.4 Medidas de mitigación durante la operación	65
VIII. DISCUSIÓN	68
XI. CONCLUSIONES.....	71
X. REFERENCIAS:	74

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación producida por el consumo de combustibles fósiles y especialmente la preocupación por el calentamiento global han promovido el auge actual de algunas energías alternativas consideradas renovables y menos contaminantes, entre ellas la energía eólica (Alcalde, 2003; Arnett, Huso, Reynolds, y Schirmacher, 2007; Kunz *et al.*, 2007).

El viento se ha usado para producir energía de forma comercial en Norteamérica desde principios de los años setenta (Arnett *et al.*, 2007). En la actualidad un factor que ha impulsado el desarrollo de la energía eólica, es el de los incentivos fiscales que ofrecen los gobiernos a las empresas que utilizan este tipo de energía (Gómez, 2001; Kunz *et al.*, 2007).

En México, se estima que para el año 2026 la capacidad instalada para la generación de electricidad a partir de energías renovables se incremente en 20,544 MW, de los cuales, se calcula que las fuentes de energía eólica tendrán la mayor participación, con 58.6% (Secretaría de Economía, 2013).

A pesar de que la energía eólica se presenta como una fuente de energía muy prometedora, eficaz y relativamente limpia si se compara con los combustibles fósiles tradicionales, su producción no está exenta de consecuencias negativas, tanto para la sociedad como para la fauna y su hábitat (Arnett, 2008; Global Wind Energy Council, 2008; Morrison M.L., Sinclair K.C., Thelander C.L., 2009). Dichas consecuencias se producen en todas las fases del proceso, tanto en la construcción de las instalaciones y del tendido eléctrico asociado como en las fases de explotación y desmantelamiento (Arnett *et al.*, 2007; Atienza, 2011).

Entre los principales impactos negativos generados por la producción de energía eólica, se encuentran la ocupación y degradación del suelo, el impacto paisajístico, la generación de ruido y los impactos sobre la fauna (Atienza, 2011).

Los efectos negativos sobre la fauna silvestre principalmente se presentan en aves y en murciélagos (Hötker *et al.*, 2006; Kunz *et al.*, 2007; Morrison *et al.*, 2009; Arnett, 2008).

Como forma de prever los impactos negativos de los proyectos eólicos, la legislación mexicana, por disposición del artículo 28 de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, establece que estos proyectos deben ser sometidos a una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) (Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, 2012). Sin embargo, en las EIA, por diversos factores, no se consideran todos los impactos potenciales sobre la fauna silvestre o éstos son subestimados (Castillo, 2012).

II. ANTECEDENTES

II.1 Importancia de la energía eólica en México

En los últimos años México ha tomado un papel relevante en el tema eólico, especialmente el estado de Oaxaca. Pese a que en la década de los ochenta no existía una ley de fomento o de promoción de la energía eólica ni datos suficientes del potencial eólico, así como pocas empresas, existía voluntad política para impulsar esta industria por parte del gobierno estatal (United States Agency International Development (USAID), 2009).

En el ámbito nacional, los sitios identificados con potenciales destacados en materia de recurso eólico son La Rumorosa en Baja California, la zona de Guerrero Negro en Baja California Sur, el Cerro de la Virgen en Zacatecas, la costa de Tamaulipas, la zona de Campeche, el Istmo de Tehuantepec y la Península de Yucatán. No obstante, es bien sabido que gran parte del litoral mexicano cuenta con recurso eólico aprovechable (USAID, 2009).

De acuerdo con cálculos de los Laboratorios de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL, por sus siglas en inglés), solamente el Istmo de Tehuantepec tiene un potencial aprovechable de hasta 35 mil megawatts (MW), que en forma muy conservadora el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ha calculado en 5 mil MW. (USAID,2009).

Actualmente, los gobiernos estatales y municipales tienen más interés en desarrollar proyectos eoloeléctricos. Esto puede responder a que se ha incrementado la conciencia ambiental, lo que ha derivado en acciones concretas

para poner en marcha políticas públicas que aprovechen las energías renovables. También puede deberse a que, ante el alza de los energéticos, los gobiernos han tenido presiones económicas y buscan alternativas para reducir sus gastos de consumo de energía (USAID, 2009).

II.2 Importancia de la energía eólica en Baja California

En el Estado de Baja California existe un elevado potencial eólico, ya que se cuenta con vientos fuertes y constantes (González, 2006). Las mejores condiciones de viento se encuentran a lo largo de la Sierra de Juárez, en especial en la región de La Rumorosa (USAID, 2009).

Si bien los estudios de los Laboratorios de Energía Renovable de los Estados Unidos señalan que existe un potencial de 500-1,800 MW de generación eólica en el estado de Baja California, otros estudios sugieren que existe un potencial significativamente mayor, si se incluyen en las estimaciones otras áreas de la Sierra de Juárez. Por otra parte, en el estado de California, la Iniciativa de Transmisión de Energía Renovable (RETI, por sus siglas en inglés) estimó a finales del 2008 que Baja California Norte tendría un potencial eólico de 2,400 MW, y existen también estimaciones de otras fuentes que señalan a un potencial de hasta 10,000 MW. (USAID, 2009).

II.3 Efectos adversos de la energía eólica

Según Atienza (2011), los principales impactos negativos que se generan por la producción de la energía eólica son los siguientes:

1. Ocupación y degradación del terreno: La obra civil necesaria para la implantación de un parque eólico supone un levantamiento y movimiento de tierras, no sólo en el emplazamiento final de los aerogeneradores, sino en las zonas colindantes, en las que frecuentemente se construyen subestaciones, tendidos eléctricos de evacuación, vías de acceso para trasladar la maquinaria, etc. En caso de que se lleven a cabo desmontes y aplanamientos también la geomorfología del terreno se verá afectada, pudiéndose acentuar

el riesgo de erosión. Además, el terreno se desbroza, eliminándose la cubierta vegetal existente en él.

2. Impacto paisajístico: Éste es uno de los aspectos que más preocupa a la sociedad, puesto que la implantación de los aerogeneradores no suele darse en zonas degradadas, industriales o las cercanas a núcleos poblacionales, sino en áreas naturales de montaña, próximas a las líneas de cumbre, donde la fuerza del viento se aprovecha mejor

3. Ruido: Éste es producido por los componentes del aerogenerador, tanto mecánica como aerodinámicamente.

II.3.1 Impactos sobre la fauna

Como se mencionó anteriormente, la instalación y operación de los parques eólicos tienen efectos negativos sobre la fauna silvestre, principalmente en aves y murciélagos (Hötker *et al.*, 2006, Kunz *et al.*, 2007).

Desde hace dos décadas las colisiones de las aves con las turbinas han sido un tema de preocupación. En el caso de los murciélagos, desde principios de los años sesenta se conoce que también mueren por causa de las turbinas (Hötker *et al.*, 2006), sin embargo sólo recientemente los investigadores comenzaron a tener interés en el riesgo de mortalidad de los murciélagos (California Energy Commission, 2007).

En Norteamérica la muerte de los murciélagos recibió poca atención hasta antes del 2003 cuando se estimó que en un parque eólico en Virginia, Estados Unidos, murieron de 1, 400 a 4,000 murciélagos (Arnett, 2008).

Actualmente la muerte de los murciélagos es considerada una de las principales preocupaciones del uso de la energía eólica (Barclay *et al.*, 2007; Kuvlesky *et al.* 2007,). Incluso algunos autores mencionan que en los parques eólicos mueren más murciélagos que aves (Osborn *et al.*, 1996, Johnson *et al.*, 2000, Keely *et al.*, 2001).

A pesar de que los murciélagos colisionan con otras estructuras antropogénicas, la frecuencia y la magnitud de las muertes es mucho menor que las observadas en los parques eólicos (Arnett, 2005).

Aunado a lo anterior, los murciélagos son mamíferos longevos con pocos depredadores y tasas de reproducción bajas (Kunz *et al.*, 1982). Por ende, las tasas altas de mortalidad por colisiones pueden tener impactos significativos para las poblaciones de murciélagos debido a que su crecimiento poblacional es lento (Racey y Entwistle, 2000).

Las muertes por colisión con las aspas de las turbinas, torres meteorológicas y cables de soporte, así como lesiones físicas en distintos grados son clasificadas como un impacto *directo* de los parques eólicos en los murciélagos, pero existen además impactos *indirectos* que ocurren cuando se genera una alteración en las poblaciones locales con el consecuente desplazamiento de éstas o cuando se modifican sus hábitos para obtener alimento, sus actividades reproductivas o sus patrones de migración (California Energy Commission, 2007).

II.4 Importancia de la quiropterofauna en México

Los murciélagos representan el segundo grupo más diverso de mamíferos en el mundo, en la actualidad se reconocen alrededor de 1,001 especies de murciélagos (Hutson *et al.*, 2001). México, con 138 especies, ocupa el quinto lugar en el mundo (Medellín *et al.*, 2008).

En Baja California los murciélagos constituyen el segundo grupo de mamíferos más numeroso con 20 especies (Ramírez Pulido *et al.*, 2005). En un análisis sobre el estado de conservación de los murciélagos a nivel mundial, Hutson *et al.* (2001) destaca la importancia de la península como un sitio de conservación de estos mamíferos.

La importancia de los murciélagos radica en el valor de las funciones ecológicas que desarrollan, mediante las cuales se mantienen los ecosistemas (Villa, 1976; Medellín R. *et al.* 1997; Moreno-Valdez A. 1997; Pierson, 1998; Hutson, 2001; O'Sheal, 2003; Agosta, 2002; Ceballos y Olivia, 2005.). Estas funciones, inciden directamente en aspectos de la economía local de las poblaciones humanas, con ejemplos como la explotación del guano de especies insectívoras, la dispersión de semillas y polinización de plantas útiles para el hombre, así como en problemas epidemiológicos (Moreno-Valdez A. y Tuttle, 2005; Aguirre L. *et al.*, 2007).

Los murciélagos pueden clasificarse de acuerdo a la función ecológica que desempeñan, la cual está ligada a sus hábitos alimentarios. En el caso particular de los murciélagos insectívoros, éstos adquieren gran importancia al mantener y controlar plagas de insectos, generando con esto un gran beneficio para la agricultura (Agosta, 2002, Briones-Escobedo-2005 y Cleveland *et al.* 2006), pues se ha estimado que un solo murciélago puede cazar cientos de insectos en una hora y grandes colonias atrapan toneladas de insectos por noche, incluyendo especies de escarabajos y polillas que cuestan a los ganaderos y forestales norteamericanos miles de millones de dólares anualmente (Tuttle y Moreno-Valdez A., 2005).

De igual manera, los murciélagos nectarívoros constituyen un elemento importante para la comunidad vegetal, al ser parte de los sistemas de polinización y dispersión de semillas de numerosas plantas como las agaváceas y cactáceas columnares (Howell 1972, Riechers-Pérez A. 2003; Heithaus, 1982; Arita H. y Martínez-del Río C. 1990; Fleming, 1993; Wilkingson, 1996; Neuweiler, 2000; Hutson *et al.*, 2001; Valiente-Banuet A. 2002; Rojas-Martínez *et al.*, 2004), por lo que contribuyen al mantenimiento de los ecosistemas áridos y semiáridos donde estas plantas habitan.

A pesar del valor ecológico de los murciélagos y de constituir uno de los grupos más numerosos, éstos se encuentran entre las especies de fauna silvestre que están disminuyendo más rápidamente (Tuttle y Moreno- Valdez A. 2005). En la actualidad, numerosas son las causas que han propiciado la declinación de las poblaciones de murciélagos a nivel local, regional y global, siendo las principales razones la modificación, pérdida y destrucción de hábitats y refugios (Hutson *et al.*, 2001; Riechers-Pérez A. *et al.*, 2003; Mickleburgh *et al.*, 2002).

II.5 Evaluación de impacto ambiental en México

El término de *impacto ambiental* se define como la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza (Semarnat, 2013). En México el instrumento legal fundamental que sustenta a la Evaluación del Impacto Ambiental es la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

(LGEEPA) y su Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (REIA) (Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, 2012).

El Artículo 28 de la LGEEPA (2012) dispone que: “la evaluación de impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente”.

La guía de evaluación de impacto ambiental para parques eólicos, propuesta por la SEMARNAT, en el apartado de impactos a la fauna, hace las siguientes recomendaciones:

“Las modificaciones que pudieran preverse sobre individuos o poblaciones de especies (en el corto o en el largo plazo), deben ser evaluadas en términos de su interacción, para complementar la valoración del impacto ambiental general del proyecto. La aplicación práctica de esta tipología durante la integración de la MIA puede responder a cuestionamientos tales como: ¿la alteración de un tipo particular de hábitat en la superficie que alterará el proyecto incidirá en la alteración de flujos tróficos, tales como depredador-presa, por ejemplo? Y, de ser así, ¿esta alteración puede ocasionar el surgimiento de un desequilibrio poblacional y, que consecuencias tendría esto?. ¿La introducción de especies nuevas produce un aumento en la densidad de población de especies comensales? ¿qué significa este aumento desde el punto de vista del uso intensivo del recurso?. ¿La remoción o afectación de individuos de especies en riesgo, alterará la dinámica poblacional regional? ¿Cuál es la relevancia de esta afectación a nivel de especie o subespecie?” (Semarnat, 2013).

A nivel local, el Departamento de Impacto y Riesgo Ambiental en Baja California (dependiente de la Semarnat), establece que para la construcción de un parque eólico, se debe presentar un estudio que contenga la siguiente información respecto de la fauna del sitio: (Semarnat, 2009)

- Diversidad de aves residentes y migratorias a lo largo del año.
- Distribución y abundancia por especie a lo largo del año.
- Comportamiento de vuelo (arribo, altura de vuelo, direcciones de vuelo, etc).
- Identificación de posibles zonas de anidación, alimentación o percheo en la zona y área de influencia.
- Análisis de la información, considerando el sitio del proyecto y el contexto regional.
- Estimación del riesgo de colisiones en los aerogeneradores y análisis de las consecuencias a nivel de poblaciones y comunidades de aves.
- Propuestas de acciones y/o medidas a realizar para minimizar los impactos a las poblaciones de aves.
- Estimación de costos directos e indirectos de la realización del estudio y la aplicación de medidas propuestas.

La Semarnat (2009) señala que para el desarrollo de las distintas acciones y medidas consideradas en los puntos anteriores, el promovente deberá asesorarse de expertos en murciélagos y avifauna regional, preferentemente con la participación de alguna institución de investigación con experiencia en estudios de este tipo.

Finalmente, es importante mencionar que las acciones y/o medidas para minimizar los impactos, corresponden a las medidas de mitigación, que son definidas en la LEGEEPA (2012) como “aquellas medidas que atenúen los impactos ambientales adversos susceptibles de ser producidos en la construcción, operación normal y en caso de accidente”.

II.5.1 Problemática en la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA)

El estudio de los impactos de los campos eólicos se dificulta por el área relativamente grande afectada y por la falta de información de estudios específicos, por ejemplo, la mortalidad o el uso de las turbinas por una especie en particular (Anderson, 1999).

En el caso de los murciélagos, aunque se conoce que existe un impacto negativo derivado de los parques eólicos, la falta de estudios específicamente diseñados para investigar la mortalidad de los quirópteros hace que no sea posible evaluar adecuadamente la magnitud del impacto que tienen las plantas eólicas sobre las poblaciones de estos mamíferos (Higgins *et al.*, Johnson *et al.*, 2000).

Con el propósito de mitigar los impactos sobre la fauna, los estudios ambientales recomiendan la elaboración de programas que recaben información biológica y conductual sobre la fauna migratoria y residente para instrumentar medidas preventivas. Generalmente, los programas planean el establecimiento de puntos de observación y radares, estudios de telemetría, detectores ultrasónicos con grabaciones, monitoreo acústico, luces ultravioleta y cámaras de video digital para determinar con precisión las zonas de reproducción, trayectorias, alturas, temporadas y horas pico de vuelo, que incluye la posibilidad de detener los aerogeneradores cuando las aves y murciélagos vuelen dentro del área del barrido del rotor (Comisión Federal de Electricidad, 2006).

Aunque las medidas sean necesarias y puedan llegar a ser eficaces, el asunto central, y que sigue sin respuesta, es que la mayoría de los estudios de impacto ambiental no señalan cuántos murciélagos han muerto desde la entrada en operación de los parques eólicos, ni cómo la presencia de éstos ha afectado el comportamiento de las especies, así como su variabilidad estacional e interanual. Mientras no exista esta información y no sea dada a conocer al público, las afirmaciones relativas a que no existen daños severos a la fauna seguirán careciendo de fundamentos sólidos. De igual manera, los estudios deberían indicar cuál sería el número permitido de ejemplares que puedan ser afectados, considerando que poner en peligro la existencia de cualquier especie es inaceptable (Castillo, 2012).

El problema central es que los estudios oficiales de impacto ambiental de los parques eólicos elaborados para determinar su viabilidad ambiental, ignoran la complejidad, los riesgos y la incertidumbre cognitiva y ética que subyace en el reciente uso de tecnologías eólicas (Castillo, 2012).

III. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Sierra de Juárez se ubica en el extremo Norte de la península de Baja California entre la frontera con EUA y el Paso de San Matías en Baja California (Hinojosa, 2011). Es una continuación de las montañas de Cuyamaca, en el condado de California, y presenta una altitud que va de los 1,000 a los 1,600 m. (Delgadillo, 1998). Sus coordenadas extremas son: 31° 19' 12" a 32° 35' 24" Latitud N y 115°24' 00" a 116° 19' 12" Longitud W y abarca una superficie 4,568 km² (Arriaga *et al.*, 2000).

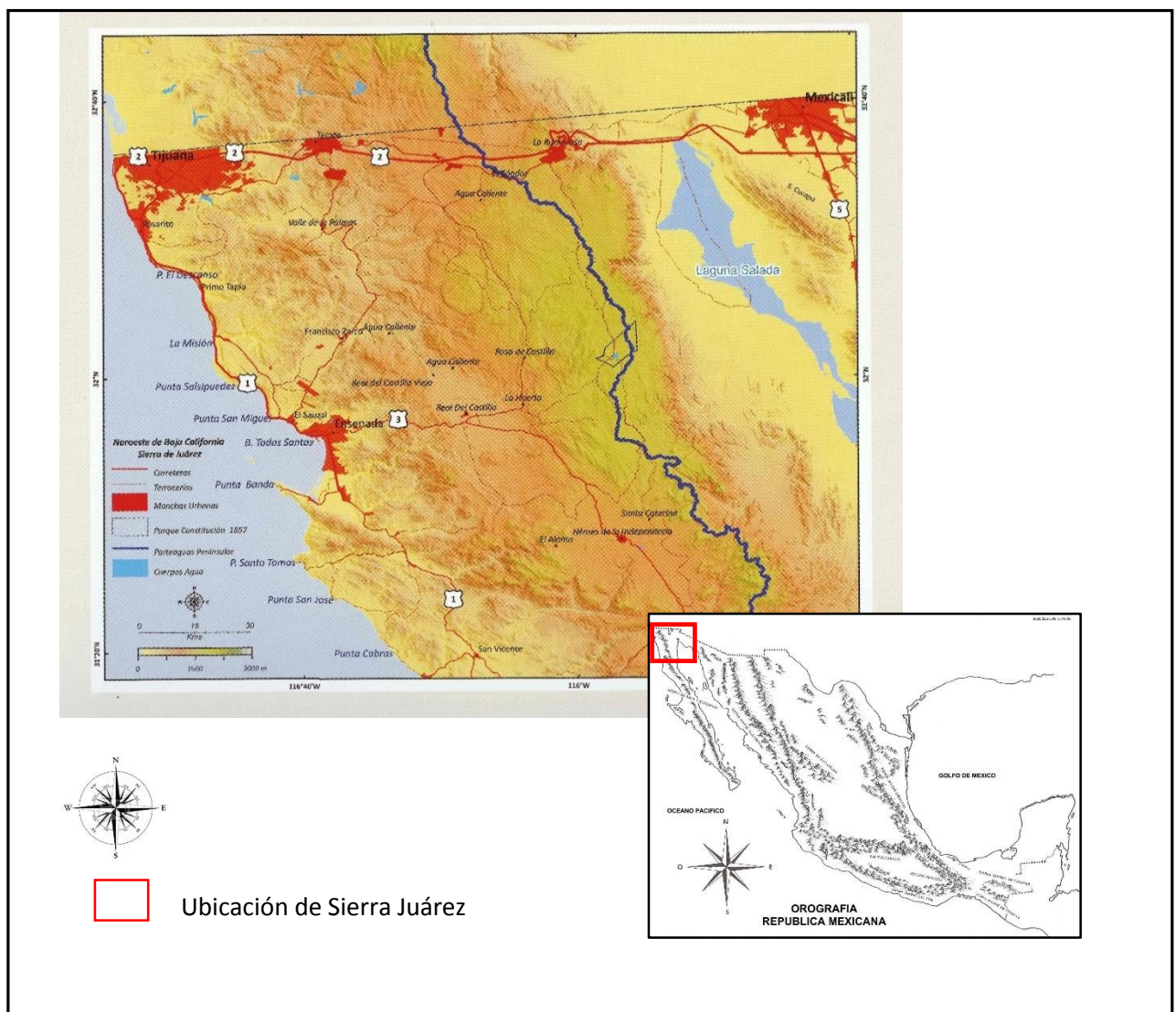


Figura 1. Localización de la Sierra de Juárez, Baja California.

La Sierra de Juárez, debido a su importancia biogeográfica, es reconocida por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) como una Región Terrestre Prioritaria (Clave RTP – 12) (Arriaga *et al.*, 2000). En su vertiente occidental, a una altitud de 1800 metros, está ubicado el Parque Nacional Constitución de 1857. Este sitio cuenta con una superficie de 5, 009.4861 hectáreas y fue declarado como Parque Nacional el 27 de abril de 1962 con el objetivo de establecer un centro de recreo y de protección a los recursos forestales y a la fauna silvestre en el Estado de Baja California (CONANP, 2011).

Clima:

De acuerdo con el sistema Köppen, modificado para México por García (1981), el clima de la Sierra de Juárez es templado-húmedo Csb(c)1 con régimen de lluvias en invierno, mayores al 36% anual; predomina el clima de tipo mediterráneo, que se caracteriza por inviernos fríos y lluviosos, y veranos secos con precipitaciones de origen tropical que se presentan en verano, principalmente en las partes altas de la sierra, originadas por masas de aire tropical que se mueven a lo largo del Golfo de California entre los meses de julio y septiembre (Delgadillo, 1998).

La temperatura promedio anual es de 11.3 °C, con temperaturas máximas absolutas de 42 °C y mínimas absolutas de –19 °C. El mes más frío es enero con una temperatura media anual de 4.4 °C, y el mes más cálido julio, con temperatura media anual de 19 °C (CONANP, 2011).

El promedio de precipitación anual es de 384.6 mm., siendo el mes de marzo el más lluvioso con 65.7 mm, y junio el mes con menos lluvia con 0.5 mm. (CONANP, 2011).

Hidrología

En Sierra de Juárez existe un único cuerpo de agua epicontinental que corresponde a la Laguna de Hanson, situada en un pequeño valle a una altitud de 1,600 m.; con una superficie de 750,000 m² y 1'850,000 m³ de capacidad. La Laguna Hansen, es sin duda el principal atractivo del Parque Nacional ya que representa

prácticamente el único cuerpo de agua dulce natural en la península de Baja California (CONANP, 2011).

Geología

El componente geológico de la zona está conformado principalmente por rocas ígneas intrusivas ácidas del tipo de la graniodiorita y tonalita. El grado de fracturamiento y afallamiento es intenso, el cual una porosidad secundaria relativamente importante. El tipo de intemperismo más frecuente es el esferoidal, dando origen a suelos arenosos y poco desarrollados (INEGI, 2014).

Suelo

El 53% de la superficie de los suelos está formado por el tipo regosol éutrico, y el 47% por leptosol lítico (Arriaga *et al.*, 2000).

Vegetación

La Sierra de Juárez presenta ecosistemas que varían desde los desérticos hasta bosque de coníferas. El principal tipo de vegetación es el chaparral, el cual se presenta en el 56% de la región con asociación de encinos bajos y vegetación arbustiva. En segundo lugar, con el 23%, está el matorral desértico micrófilo, y finalmente el bosque de pino, en un 21% de la superficie (Arriaga *et al.*, 2000).

Dentro del chaparral, se encuentran comunidades que consisten principalmente de las especies *Adenostoma fasciculatum*, *A. sparsifolium* y *Ceanothus greggii*. En las partes con altitud de 1,200 m., se encuentran pequeñas áreas de chaparral mixto dominado por *Ceanothus leucodermis*, *Arctostaphylos glandulosa* y *A. glauca*. Sobre las cimas rocosas, se encuentran arbustos de la especie *Quercus chrysolepis* y al sur de la Sierra se encuentra el ciprés de Arizona *Cupressus arizonica*. También se encuentran pinos de la especie *Pinus coulteri* (Minnich, 1999).

Como vegetación riparia, existen oasis de *Washingtonia filifera* y *Brachea armata*. La especie de encino que predomina es *Quercus agrifolia*. En el bosque de pino piñonero se encuentran las especies de *Pinus quadrifolia* y *Pinus monophylla*.

El bosque mixto de coníferas lo conforman comunidades de pinos *Pinus jeffreyi* y algunos cedros de la especie *Calocedrus decurrens* (Minnich, 1999).

Fauna

La sierra de Juárez forma parte de la Región Mediterránea y del Distrito Faunístico San Dieguense, que contienen una de las 18 áreas de mayor biodiversidad a nivel mundial, donde encontramos endemismos importantes tanto de invertebrados como de vertebrados (CONANP, 2011). Además, parte de la importancia de la Sierra de Juárez es que sirve como corredor de la biota de las sierras de la península con la de California (Arriaga *et al.*, 2000).

Según el estudio realizado por Martínez *et al.* (en revisión), en Sierra de Juárez se registran 59 especies de mamíferos, representados por seis ordenes, 17 familias y 37 generos. El orden Rodentia es el mejor representado.

Dentro del Orden Chiroptera las especies más comunes son el murciélago moreno (*Eptesicus fuscus*), el murciélago de bolsas menor (*Nyctinomops femorosaccus*), el murciélago cañonero (*Parastrellus hesperus*), el murciélago pálido desértico (*Antrozous pallidus*) y los murciélagos del género *Myotis spp.* Ninguna de las especies de murciélagos registradas se encuentra enlistada bajo algún estatus de conservación, sin embargo en Sierra de Juárez se tiene registrado el único espécimen colectado del murciélago de bonete mayor (*Eumops perotis*) para la península de Baja California (Martínez *et al.*, 2008).

IV. OBJETIVOS

IV.1 Objetivo general

Proponer una serie de recomendaciones para evaluar y mitigar el impacto de los parques eólicos en la quiropterofauna en la Sierra de Juárez.

IV.2 Objetivos específicos

- Identificar las especies de murciélagos que son afectadas por los aerogeneradores en Baja California.
- Documentar las condiciones ambientales asociadas con la mortalidad de los murciélagos en parques eólicos.
- Identificar los elementos de infraestructura de los proyectos de los parques eólicos que provocan mortalidad en los murciélagos.
- Describir los elementos que se deben tomar en cuenta al evaluar el impacto de los parques eólicos sobre los murciélagos.

V. METODOLOGÍA

Se realizó una búsqueda de los registros de murciélagos en colecciones científicas y museos, con el propósito de referenciar las especies registradas en la zona de estudio. Adicionalmente se consultó literatura especializada sobre la distribución potencial de los quirópteros en la zona.

Para cumplir con el segundo objetivo se realizó una recopilación bibliográfica sobre literatura especializada que describe las condiciones ambientales relacionadas con la mortalidad de los murciélagos en parques eólicos. Adicionalmente se documentaron los elementos estructurales y de ingeniería de los parques eólicos que afectan a la quiropterofauna. Finalmente, con base en esta información, se propuso una serie de recomendaciones para la evaluación y mitigación del impacto de los aerogeneradores sobre los murciélagos.

VI. RESULTADOS

VI.1 Quiropteroфаuna de Baja California

Con base en el primer objetivo del presente trabajo, que consiste en identificar las especies de murciélagos que son afectadas por los aerogeneradores en Baja California, de forma inicial, se realizó un listado de las especies que se han registrado en el estado y en Sierra de Juárez.

Para documentar las especies presentes en Baja California, se revisaron los trabajos de Elliot (1903); Huey (1964); Villa (1967); Hall (1981); Álvarez – Castañeda y Patton (1999); Couoh (2005); Flores (2004); Guevara Carrizales (2004, 2008); Martínez – Gallardo *et al.* (2008) y Martínez (2011). Como resultado se encontró que en el estado se registran 20 especies de murciélagos, representadas por tres familias y 12 géneros. Para Sierra de Juárez se encontraron registros de 15 especies, correspondientes a tres familias y 10 géneros (Ver Cuadro 1).

Las especies se ordenaron según los criterios taxonómicos de Ramírez – Pulido *et al.* (2005), y se muestran de esta forma en el Cuadro 1 donde se incluyen las familias, el nombre científico y el nombre común, así como su distribución (Baja California y Sierra de Juárez) y la categoría de riesgo según la NOM – 059 – 2010 y la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN por sus siglas en inglés) (Versión 2014.2)

Para las categorías de riesgo que considera la NOM – 059 – 2010 – SEMARNAT - 2010 se encontraron especies en las siguientes clasificaciones: P, en peligro de extinción; A, amenazada y Pr sujeta a protección especial.

Según las categorías de riesgo de la UICN, se encontraron especies en las siguientes categorías: VU, vulnerable; NT, casi amenazado y LC, preocupación menor.

Cuadro 1. Listado de especies de murciélagos registrados en Baja California.

Especie			Distribución		Categoría de riesgo	
Familia	Nombre científico	Nombre común	Baja California	Sierra Juárez	NOM - 059	IUCN
Phyllostomidae	<i>Macrotus californicus</i> (Baird, 1858)	Murciélago orejón californiano	X	X	-	LC
	<i>Leptonycteris curasoae</i> (Miller, 1900)	Murciélago hocicudo de Curazao	X		A	VU
	<i>Choeronycteris mexicana</i> (Tschudi, 1844)	Murciélago trompudo	X		A	NT
Mollosidae	<i>Tadarida brasiliensis</i> (I. Geoffroy Saint – Hilaire, 1824)	Murciélago cola suelta brasileño	X	X	-	LC
	<i>Nyctinomops femorosaccus</i> (Merriam, 1889)	Murciélago cola suelta espinoso	X	X	-	LC
	<i>Eumops perotis</i> (Schinz, 1821)	Murciélago con bonete mayor	X	X	-	LC
Vespertilionidae	<i>Parastrellus hesperus</i> (H. Allen, 1864)	Pipistrello del oeste americano	X	X	-	LC
	<i>Antrozous pallidus</i> (Le Conte, 1856)	Murciélago desértico norteco	X	X	-	LC

<i>Lasiurus cinereus</i> (Palisot de Beauvois, 1796)	Murciélago cola peluda canoso	X	X	-	LC
<i>Lasiurus xanthinus</i> (Thomas, 1897)	Murciélago cola peluda de La Laguna	X	X	-	LC
<i>Lasiurus blossevillii</i>	Murciélago cola peluda de Blossevil	X		-	LC
<i>Corynorhinus townsendii</i> (Cooper, 1837)	Murciélago mula norteamericano	X	X	-	LC
<i>Eptesicus fuscus</i> (Palisot de Beauvois, 1796)	Murciélago moreno norteamericano	X	X	-	LC
<i>Myotis californicus</i> (Audubon y Bachman, 1842)	Miotis californiano	X	X	-	LC
<i>Myotis ciliolabrum</i> (Merriam, 1886)	Miotis cara negra	X	X	-	LC
<i>Myotis evotis</i> (H. Allen, 1864)	Miotis oreja larga	X		Pr	LC
<i>Myotis thysanodes</i> (Miller, 1897)	Miotis bordado	X	X	-	LC
<i>Myotis vivesi</i> (Menegaux, 1901)	Miotis pescador	X		P	VU
<i>Myotis volans</i> (H. Allen, 1866)	Miotis pata larga	X	X	-	LC
<i>Myotis yumanensis</i> (H. Allen, 1864)	Miotis de Yumma	X	X	-	LC

Mediante los datos obtenidos se generó una gráfica donde se muestra de forma comparativa la diversidad de quiropteroфаuna presente en México, Baja California y Sierra de Juárez (Ver Figura 1).

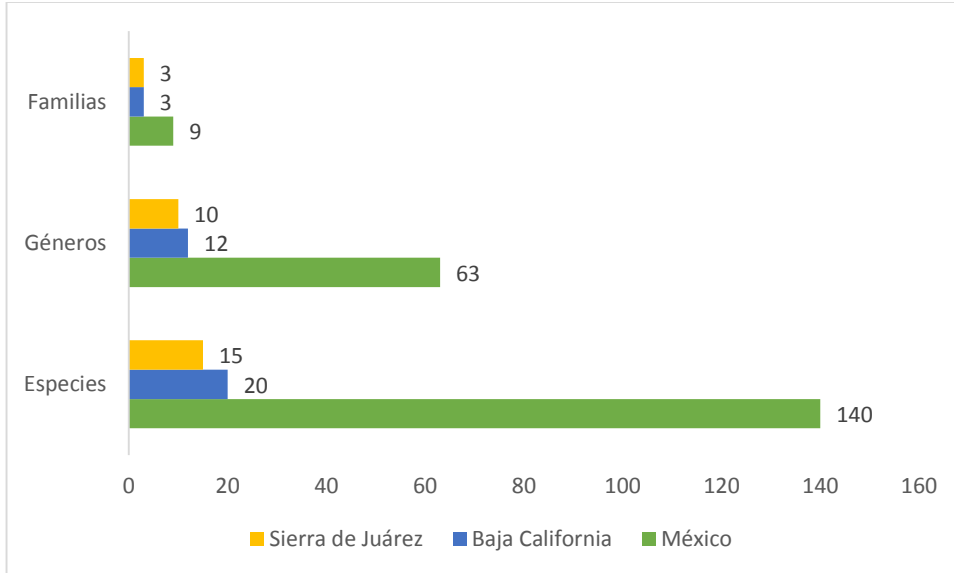


Figura 1. Diversidad de quiropteroфаuna regional

VI.1.1 Especies de murciélagos afectadas por los aerogeneradores

Alrededor del mundo se han llevado a cabo estudios en los que se registran las especies de murciélagos que mueren dentro de los parques eólicos. En el siguiente cuadro se muestran dichas especies y los autores que las reportan.

Cuadro 2. Especies que mueren en los parques eólicos

Especie	País	Autores
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Navarra, España; Alemania	Alcalde, 2003 Hötker <i>et al.</i> , 2006
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Navarra, España	Alcalde, 2003
<i>Pipistrellus mediterraneus</i>	Navarra, España	Alcalde, 2003
<i>Pipistrellus nathusii</i>	Alemania	Hötker <i>et al.</i> , 2006
<i>Hypsugo savii</i> ,	Navarra, España	Alcalde, 2003
<i>Eptesicus serotinus</i> ,	Navarra, España; Alemania	Alcalde, 2003; Hötker <i>et al.</i> , 2006
<i>Nyctalus noctula</i>	Navarra, España; Alemania	Alcalde, 2003; Hötker <i>et al.</i> , 2006
<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Navarra, España	Alcalde, 2003
<i>Nyctalus leisleri</i>	Alemania	Hötker <i>et al.</i> , 2006
<i>Lasiurus cinereus</i>	Estados Unidos	Johnson 2000, 2004, 2005; Arnett, 2008; Weller y Baldwin, 2012
<i>Lasionycteris noctivagans</i>	Estados Unidos	Johnson 2004, 2005; Arnett, 2008
<i>Lasiurus blossevilli</i>	Estados Unidos	Johnson 2004, 2005; Kunz <i>et al.</i> , , 2007; Arnett, 2008
<i>Lasiurus seminolus</i>	Estados Unidos	Kunz <i>et al.</i> , 2007

<i>Pipistrellus subflavus</i>	Estados Unidos	Kunz <i>et al.</i> , 2007; Arnett, 2008
<i>Myotis lucifugus</i>	Estados Unidos	Kunz <i>et al.</i> , 2007; Arnett, 2008
<i>Myotis septentrionalis</i>	Estados Unidos	Kunz <i>et al.</i> , 2007
<i>Myotis evotis</i>	Estados Unidos	Kunz <i>et al.</i> , 2007
<i>Myotis myotis</i>	Alemania	Hötker <i>et al.</i> , 2006
<i>Myotis dabentoni</i>	Alemania	Hötker <i>et al.</i> , 2006
<i>Eptesicus fuscus</i>	Estados Unidos	Kunz <i>et al.</i> , 2007; Arnett, 2008; Weller y Baldwin, 2012
<i>Tadarida brasiliensis</i>	Estados Unidos	Kunz <i>et al.</i> , 2007; Arnett, 2008; Weller y Baldwin, 2012
<i>Lasiurus xanthinus</i>	Estados Unidos	Weller y Baldwin, 2012
<i>Nyctinomops femorosaccus</i>	Estados Unidos	Weller y Baldwin, 2012
<i>Vespertilio murinos</i>	Alemania	Hötker <i>et al.</i> , 2006
<i>Plecotus austriacus</i>	Alemania	Hötker <i>et al.</i> , 2006

De las 7 especies de cadáveres colectados por Alcalde (2003), prácticamente la mitad de los ejemplares pertenecieron a la especie *Hypsugo savii*. Esto indica probablemente una mayor vulnerabilidad de las poblaciones de esta especie.

Según lo reportado por Johnson (2005) y Kunz *et al.* (2007), de las 45 especies que se distribuyen en el norte de México, se han reportado muertes de 11 especies dentro de los parques eólicos.

De las especies encontradas por Johnson (2004, 2005) en Estados Unidos, el 75% pertenecieron a las especies *Lasiurus blosevillii*, *Lasiurus cinereus*, y *Lasionycteris noctivagans*, todas ellas son especies forrajeras que vuelan grandes distancias en sus migraciones. Arnett (2008) encontró mortalidades marcadas para estas mismas tres especies, de las cuales predominó *Lasiurus cinereus*.

Además, Arnett (2008) reporta a *Pipistrellus subflavus*, la cual representó un 25.4% de las mortalidades. Para especies residentes en verano (*Myotis lucifugus* y *Eptesicus fuscus*) las mortalidades generalmente fueron bajas (0 – 13.5%), excepto en un sitio en Canadá e Iowa, donde la mortalidad de estas especies representó el 25% de las mortalidades.

Arnett (2008) también encontró que los parques que se localizaban donde habita el murciélago cola libre brasileño (*Tadarida brasiliensis*) presentaron proporciones altas de mortalidad de esta especie (de 41.3% hasta 85.6%), lo cual coincide con lo reportado por Weller y Baldwin (2012), quienes registraron a *Tadarida brasiliensis* como la especie más afectada.

De las especies reportadas en Alemania por Hötker *et al.* (2006) la más encontrada fue *Nyctalus noctula*.

VI.1.2 Especies de murciélagos que pueden ser afectadas por los aerogeneradores en Baja California

De acuerdo con los estudios revisados de diferentes países, de las 20 especies de murciélagos que se encuentran en Baja California, las siguientes cinco especies podrían estar en mayor riesgo debido a la instalación y operación de los parques eólicos: **1)** *Tadarida brasiliensis* (Kunz *et al.*, 2007; Arnett, 2008; Weller y Baldwin, 2012), **2)** *Lasiurus cinereus* (Johnson 2000, 2004, 2005; Arnett, 2008; Weller y Baldwin, 2012), **3)** *Lasiurus blosevillii* (Johnson 2004, 2005; Kunz *et al.*, 2007; Arnett, 2008), **4)** *Eptesicus fuscus* (Kunz *et al.*, 2007; Arnett, 2008; Weller y Baldwin, 2012) y **5)** *Nyctinomops femorosaccus* (Weller y Baldwin, 2012; Guevara, *et al.* en revisión).

VI.2 Factores asociados con la mortalidad de los murciélagos en los parques eólicos

VI.2.1 Características biológicas de especies susceptibles

Especies migratorias

En varios estudios se ha observado que las especies de murciélagos que migran en largas distancias son las que más mueren dentro de los parques eólicos (Alcalde, 2003; Arnett *et al.*, 2007, 2008; Kunz *et al.*, 2007). Dentro de estas especies se encuentran los murciélagos cola peluda (*Lasiurus cinereus*), los murciélagos rojos del este (*Lasiurus borealis*), y los murciélagos canosos (*Lasionycteris noctivagans*). Estas tres especies migran del norte durante la primavera (Lausen *et al.*, 2008).

Una posible explicación es que algunas especies migratorias buscan los árboles más cercanos disponibles para alimentarse o para refugiarse cuando termina la luz del día y podrían confundir las torres con árboles (Kunz *et al.*, 2007; Horn, 2008).

Según Arnett *et al.* (2008), una mayor mortalidad durante la migración, también puede estar asociada con una reducción en la ecolocación y en las capacidades de vuelo de los murciélagos juveniles, por lo menos en los murciélagos rojos (*Lasiurus borealis*).

Finalmente, aunque las mortalidades de especies no migratorias han sido relativamente pocas, un parque eólico en Alberta, Canadá, reportó más del 20% de mortalidades de pequeño murciélago café (*Myotis lucifugus*), por lo que no se debe descartar el riesgo en estas especies (Arnett *et al.*, 2008).

Hábitos alimenticios

Horn *et al.* (2008) documentaron ciertas conductas evasivas de los murciélagos a las palas de las turbinas, no obstante, registraron que la mayoría de los murciélagos forrajeaban o volaban alrededor de las turbinas.

Aunado a lo anterior, otros autores han encontrado que de las mortalidades de murciélagos reportadas, las más altas se presentan en murciélagos que se alimentan en los árboles o que cazan en las cercanías de los aerogeneradores (Alcalde, 2003; Arnett *et al.*, 2007; Kunz *et al.*, 2007; Sterner, 2009).

Alcalde (2003) además menciona que los cadáveres que se han encontrado, corresponden a especies que cazan sus presas en vuelo y en espacios abiertos, libres de vegetación.

Ecolocación

Una creencia generalizada es que los murciélagos se sirven de la ecolocación para evitar chocar contra las turbinas. Sin embargo, Keeley *et al.* (2001) refieren que los murciélagos tal vez no usen la ecolocación mientras recorren largas distancias en zonas abiertas, ya que necesitan ahorrar energía (Sterner *et al.*, 2009).

Otro factor es que para la mayoría de los murciélagos la ecolocación es inefectiva a distancias mayores de 10 m., por lo que los quirópteros que forrajean en las cercanías de las turbinas pueden calcular mal la velocidad del rotor o fallar en detectar el rápido movimiento de las palas (Kunz *et al.*, 2007).

Tipo de vuelo

Horn *et al.* (2008) estudiaron la actividad de los murciélagos dentro de los parques eólicos y observaron que éstos pasaban gran parte del tiempo forrajeando y volando en un rango de altitud en el que operan las turbinas (29 – 111 m. sobre el nivel del suelo).

Los murciélagos que producen sonidos de alta frecuencia (> 35 kHz, la mayoría de las especies del género *Myotis* y el murciélago colorado (*Lasiurus borealis*)) generalmente vuelan a alturas bajas a moderadas (alrededor de los 10 m.). Los murciélagos que producen sonidos de baja frecuencia (< 35 kHz, principalmente el murciélago cola peluda canoso (*Lasiurus cinereus*) y el murciélago moreno

norteamericano (*Eptesicus fuscus*) vuelan a alturas mayores (31 a 39 m.) (Arnett 2006, 2007; Weller y Baldwin, 2012).

Para aerogeneradores de 60-80 m. de torre y 34 m. de pala, la altura de riesgo de colisión está entre 26 y 114 m., y la tendencia es hacia aerogeneradores de mayores dimensiones, por lo que las especies que vuelan a alturas mayores (murciélagos de baja frecuencia) son más susceptibles (Alcalde, 2003; Arnett *et al.* 2008).

Además de la altura de vuelo, otros autores mencionan que las especies que vuelan a velocidades mayores son más afectadas por los aerogeneradores (Dürr, 2003 y Johnson *et al.*, 2003).

En el caso específico de los murciélagos del género *Lasiurus*, es posible que sean más susceptibles que otros murciélagos por el hecho de volar más a menudo por zonas despejadas o a la altura de las palas (Sturner *et al.*, 2009).

Edad

Existe una hipótesis que sugiere que los murciélagos juveniles poco experimentados con el vuelo son más susceptibles de colisionar con las turbinas, sin embargo Arnett (2008) encontró que en la mayoría de los estudios las mortalidades correspondían a animales adultos.

Lausen *et al.* (2008), mencionan que tanto los animales juveniles (menores de un año) como los adultos son afectados por los aerogeneradores.

Conducta exploratoria

Los murciélagos comúnmente pasan varias veces por un sitio antes de perchar o entrar a refugiarse en árboles o edificios. Esta misma conducta se observó en los murciélagos que volaban cerca de las palas en movimiento, lo cual sugiere que se pueden sentir atraídos por los aerogeneradores por sí mismos (Horn *et al.*, 2008).

Además, los murciélagos migratorios también podrían explorar los aerogeneradores para evaluar su potencial como sitios de reproducción (Horn *et al.*, 2008).

VI.2.2 Condiciones ambientales

Los patrones regionales de las condiciones climáticas así como los eventos climáticos locales ayudan a predecir la actividad de los murciélagos, lo cual está directamente relacionado con el riesgo de colisión con los aerogeneradores. A continuación se mencionan los principales factores ambientales:

Época del año

La época migratoria, a finales del verano y principios del otoño, es cuando se han reportado mayores tasas de mortalidad de los murciélagos en los parques eólicos de Norteamérica y en Europa (Johnson, 2004; Arnett *et al.*, 2007, 2008; Kunz *et al.*, 2007; Dürr, 2003; Keeley *et al.*, 2001).

Cryan y Brown (2007) sugirieron que una mayor mortalidad de murciélagos migratorios durante el verano y el otoño está relacionada con el comportamiento gregario y reproductivo (búsqueda de pareja) que presentan los murciélagos arbóreos (Arnett, 2008).

Por la otra parte, las bajas mortalidades reportadas durante la migración de primavera y principios del verano pueden deberse a que las búsquedas han sido menos intensivas en esta época, o a que en la primavera los murciélagos vuelan a alturas mayores. Muchos, aunque no la mayoría de las especies de murciélagos que han muerto por las turbinas en Estados Unidos son residentes durante los meses de verano (Kunz *et al.*, 2005).

En el estudio de Higgins *et al.* (2000), se confirma lo anterior, ya que los cadáveres se recuperaron en épocas no migratorias, por lo que concluyen que la colisión puede ocurrir en cualquier época del año. Igualmente, Arnett (2008) documentó la muerte de un murciélago brasileño cola libre (*Tadarida brasiliensis*)

en mayo y junio en Oklahoma, Estados Unidos, y un murciélago de la especie *Lasionycteris noctivagans* en la primavera en Tennessee, Estados Unidos y en Alberta, Canadá.

Temperatura

La actividad de los murciélagos está fuertemente relacionada con la temperatura. Arnett (2006) menciona que por cada grado centígrado de incremento en la temperatura, la actividad de los murciélagos aumenta hasta un 34%, y por el contrario, con temperaturas menores a 20 °C y velocidades del viento moderadas (alrededor de 8 m/s), la actividad es baja, excepto para los murciélagos de altas frecuencias (Arnett, 2006b; Weller y Baldwin, 2012).

La relación entre la actividad de los murciélagos y la temperatura puede ser explicada por la disponibilidad de los insectos como presa. El vuelo de los insectos disminuye con la temperatura y a temperaturas menores a los 10° C no hay actividad de vuelo (Arnett, 2006b). Probablemente, como consecuencia de esto, la densidad de estos mamíferos en los parques está relacionada positivamente con la temperatura (Alcalde, 2003).

Velocidad del viento

Se conoce que los murciélagos disminuyen su actividad en presencia de vientos fuertes (Arnett, 2006b; Weller y Baldwin, 2012). Por lo tanto, en noches de poco viento (menores a 6 m/s), cuando los murciélagos son más activos (al igual que los insectos voladores de los que se alimentan), se han reportado la mayoría de las mortalidades (Kerns *et al.*, 2005; Arnett, 2006; Kunz *et al.*, 2007).

Dirección del viento

Fiedler (2004) encontró una relación positiva entre la mortalidad de los murciélagos y la dirección del viento. Observó que entre más se dirigía el viento al suroeste, había mayor probabilidad de mortalidad, quizá debido a que los vientos

que soplan más al norte están asociados con tormentas y o condiciones que propician la migración de los murciélagos (Arnett, 2006b).

Lluvia y tormentas

En periodo de lluvias la actividad de los murciélagos disminuye (Arnett, 2006). En concordancia con esto, Kerns *et al.* (2005) reportan pocas mortalidades durante los días de tormenta. Sin embargo, en los días anteriores y posteriores a las tormentas se incrementan las muertes de los murciélagos, especialmente en noches de poco viento (Arnett, 2008).

La relación entre las colisiones y las condiciones meteorológicas adversas podría deberse a que los murciélagos se desplazan para buscar refugio (Higgins *et al.*, 2000; Sternen, 2009).

Por otra parte, Kunz *et al.*, (2007) atribuyen este fenómeno a las inversiones térmicas que ocurren después de las tormentas, las cuales obligan a los animales a volar a altitudes bajas. Según este autor, las inversiones térmicas crean condiciones frías y brumosas en los valles, con masas de aire más cálidas que ascienden hacia las cimas. Si tanto los insectos como los murciélagos responden a estas condiciones concentrando sus actividades hacia las cimas en lugar de altitudes bajas, se incrementa el riesgo de que sean atrapados por las turbinas en movimiento.

Presencia de niebla

Otra de las condiciones que aumentan el riesgo de colisión es la presencia de niebla densa o cubierta de nubosidad baja en las área de los parques eólicos (California Energy Commission, 2007), ya que éstas hacen que disminuya la visibilidad (Higgins *et al.*, 2000).

Vegetación

En cuanto al hábitat en los parques eólicos, los murciélagos muestran una preferencia por las zonas con arbolado cercano en comparación a las que cuentan únicamente con estratos arbustivos o herbáceos (Alcalde, 2003).

En estudios realizados en Estados Unidos, las mortalidades en los parques eólicos parecen ser mayores en aquellos que se ubican en zonas boscosas (Kunz *et al.*, 2007). No obstante, algunos estudios indican que las mortalidades no están limitadas a estas zonas (Arnett *et al.*, 2007). En paisajes relativamente abiertos, aunque en menor proporción, también se han reportado mortalidades, incluso en zonas agrícolas se han encontrado tasas altas de mortalidad (Kunz *et al.*, 2007).

Teoría de la descompresión

La hipótesis de la descompresión plantea que los murciélagos mueren por barotrauma. El barotrauma es un fenómeno causado por una reducción rápida de la presión del aire cercano a las palas de las turbinas en movimiento. Como consecuencia, se genera un daño a los tejidos que contienen aire. En el barotrauma pulmonar existe un daño debido al aire que se expande dentro de los pulmones y que no puede ser liberado durante la exhalación (Kunz *et al.*, 2007; Baerwald *et al.*, 2008).

Según lo reportado por Baerwald *et al.* (2008), el 90% de los cadáveres que examinaron presentaban hemorragias internas consistentes con barotrauma y el contacto directo con las palas sólo representó alrededor de la mitad de las causas de muerte. Además, según estos autores, una de las razones por las que se presentan más mortalidades en murciélagos que en aves es que el sistema respiratorio único de las aves es menos susceptible al barotrauma que el de los murciélagos.

VI.2.3 Elementos de infraestructura de los parques eólicos

Dimensión de las turbinas

Los avances tecnológicos tienden hacia aerogeneradores de mayores dimensiones y rendimientos (Alcalde, 2003; Kunz *et al.*, 2007), alcanzando algunos los 60-80 m. de torre y 34 m. de palas. Estas últimas pueden desarrollar una velocidad lineal en su extremo, superior a los 200 km/h (Alcalde, 2003). Esta tendencia es guiada por cuestiones económicas, porque las turbinas pueden generar mayor energía si el tamaño del rotor es mayor, lo que requiere también torres y generadores de mayor tamaño (Gómez, 2001).

Según la Comisión de Energía de California (2006), no se sabe con certeza si existen diferencias en la mortalidad generada por las turbinas pequeñas (40 a 400 kW) o las turbinas grandes (750 kW), sin embargo, existen hipótesis y estudios que sugieren una mayor mortalidad con torres de mayor altura.

Por ejemplo, Kunz *et al.*, (2007) mencionan que los murciélagos forrajeros en particular, buscan refugio en árboles altos y a medida que las turbinas continúan aumentando en altura, los murciélagos que migran o que forrajean a mayores altitudes pueden ser más vulnerables.

En un estudio realizado por Arnett (2008) se documentó que hubo menor mortalidad de murciélagos en un parque con turbinas de 50 metros de altura, que en un parque con turbinas de 65 metros de altura. Esto coincide con los hallazgos de Dürr (2003) y soporta la hipótesis de que las turbinas de mayor altura provocan más muertes de murciélagos.

Ubicación de los aerogeneradores

Algunos estudios demuestran que los parques eólicos que están ubicados perpendicularmente a la dirección principal de vuelo, tienen un efecto de barrera mayor y posiblemente causan más colisiones que los parques eólicos ubicados de

forma paralela a las rutas de vuelo (Everaert *et al.*, 2002; Isselbacher e Isselbacher, 2001).

Sonidos generados por las turbinas

Las turbinas al girar producen sonidos audibles. Debido a que los murciélagos se orientan mediante este tipo de sonidos, es posible que sean atraídos por éstos hacia las turbinas. Además, las turbinas también producen sonidos ultrasónicos, los cuales pueden atraer a los murciélagos o desorientarlos acústicamente mientras migran o se alimentan (Kunz *et al.*, 2005; Szewczak, 2006).

Otros autores encontraron que efectivamente las turbinas generan ultrasonidos, sin embargo no a niveles significativos para atraer a los murciélagos (Szewczak y Arnett, 2006).

Szewczak y Arnett, 2006 señalan que además de los ultrasonidos generados por las turbinas en movimiento, existen otras fuentes de sonidos como los producidos por componentes electrónicos y componentes mecánicos. Los ultrasonidos se generan por la falta de lubricación de las superficies en movimiento, pero éstos se pueden reducir o evitar mediante el mantenimiento adecuado de las turbinas.

Velocidad de operación

Las turbinas que operan a velocidades bajas representan una amenaza para algunas especies de murciélagos (Arnett, 2005), ya que en noches de poco viento los quirópteros son más activos y tienen mayor riesgo de colisionar (Kerns *et al.*, 2005; Arnett, 2006; Kunz *et al.*, 2007).

Número y distancia entre turbinas

En sus investigaciones, Higgins *et al.* (2000) encontraron que a mayor cantidad de turbinas dentro de un parque eólico aumentaba el número de aves muertas por turbina por año.

En cuanto a la distancia entre turbinas, Johnson *et al.* (2000) encontraron que cuando las turbinas están más separadas entre sí, la mortalidad de los murciélagos se reduce.

Iluminación

De los estudios revisados por Arnett (2008), en ninguno se encontraron diferencias en la mortalidad de los murciélagos entre las turbinas iluminadas según los requerimientos de la Administración Federal de Aviación y las turbinas sin iluminación. Esto concuerda con lo encontrado por Horn *et al.* (2008), quienes mencionan que la iluminación puede atraer a los insectos sin que necesariamente se incremente la actividad de los murciélagos alrededor de las turbinas.

Nacelles

Un nacelle es el elemento que se sitúa en la parte superior de la torre y sobre el que giran las palas. Está formado por una estructura metálica que sirve de soporte para el conjunto de elementos que se sitúan en su interior y por paneles de fibra de vidrio que protegen a los equipos de las condiciones climatológicas adversas (Asociación Empresarial Eólica, 2011).

Se conoce que los aerogeneradores producen campos electromagnéticos complejos alrededor de los nacelles. Debido a que algunos murciélagos tienen receptores que son sensibles a campos magnéticos, la interferencia con la percepción en estos receptores puede incrementar el riesgo de que mueran por las palas mientras giran (Kunz *et al.*, 2007).

Adicionalmente, se ha reportado que algunos insectos voladores son atraídos por el calor producido por los nacelles, lo cual a su vez atrae a los murciélagos (Kunz *et al.*, 2007).

Construcción de caminos y corredores

Durante la construcción de los parques eólicos se modifica el paisaje debido a la construcción de caminos y corredores de líneas de poder y a la remoción de árboles (generalmente de 0.5 a 2 ha) alrededor de cada aerogenerador, lo cual puede crear condiciones favorables para los insectos aéreos de los cuales se alimentan los murciélagos. Debido a esto, los murciélagos que migran o forrajean en paisajes homogéneos están en mayor riesgo de encontrarse con las turbinas y colisionar (Kunz *et al.*, 2007; California Energy Commission, 2007).

Ubicación de los parques eólicos

Según el estudio de Higgins *et al.* (2000) la mortalidad de murciélagos provocada por colisiones con las turbinas eólicas en pastizales es baja (<1 murciélago/turbina/año) y las turbinas no parecen causar más muertes que otras estructuras artificiales. Por el contrario, las turbinas ubicadas cerca de los humedales generan más muertes en los murciélagos (Jain *et al.*, 2007).

Para los parques eólicos cercanos a los bosques, existe evidencia de que hay mayores mortalidades que en aquellos situados en hábitats abiertos (Bach, 2002).

VII. RECOMENDACIONES PARA EVALUAR Y MITIGAR EL IMPACTO DE LOS PARQUES EÓLICOS

Los esfuerzos para minimizar los conflictos entre la fauna y los parques eólicos se enfocan principalmente en dos áreas: evitar el riesgo y mitigar los impactos (Weller y Baldwin, 2012).

Las recomendaciones se basan básicamente en la selección del sitio, manejo del hábitat dentro del parque eólico, configuración de las turbinas, operación del parque y otras medidas específicas para cada área (Hötcker *et al.*, 2006).

Es importante mencionar que cada área propuesta para proyectos eólicos es única, por lo que las recomendaciones para su evaluación no pueden ser idénticas en todos los casos (NWCC, 2007), sin embargo, se sugiere considerar algunos aspectos generales que a continuación se mencionan.

VII.1 Recomendaciones preoperativas

La selección del sitio adecuado para la instalación de un parque eólico es el método más importante para reducir los efectos negativos sobre los murciélagos (Hötcker *et al.*, 2006).

De acuerdo con Anderson (1999), para la construcción de un parque eólico se deben considerar varias áreas probables, evaluarlas y hacer una comparación entre éstas. Para la evaluación de cada área, se recomienda llevar a cabo las siguientes actividades:

VII.1.1 Consulta de la información existente sobre el área, considerando estas fuentes:

Experiencia local: la consulta a expertos locales familiarizados con el sitio puede ahorrar tiempo y proveer información valiosa. Los expertos locales pueden identificar las especies en riesgo u otros elementos biológicos que se deben considerar. También pueden tener relación con otras personas que

pueden proporcionar información biológica o legal. Se puede considerar a los biólogos que trabajen en la zona, profesores en las universidades, representantes de organizaciones de conservación de fauna, observadores de aves, entre otros (Anderson, 1999; California Energy Commission, 2007; Morrison *et al.*, 2009; NWCC, 2007).

Información bibliográfica: estudios elaborados previamente para el área o investigaciones de otros parques eólicos. Es esencial visitar estos parques eólicos para determinar si las condiciones biológicas en el sitio propuesto son similares a las de los proyectos existentes (Anderson, 1999; California Energy Commission, 2007; Morrison *et al.*, 2009).

Bases de datos: información sobre la distribución y hábitat de especies raras y amenazadas, así como información sobre especies susceptibles de colisionar y áreas que son usadas por gran cantidad de especies (Anderson, 1999; California Energy Commission, 2007; Morrison *et al.*, 2009; NWCC, 2007).

VII.1.2. Estudios de reconocimiento

Después de recabar la información existente del área propuesta, se sugiere llevar a cabo estudios para evaluar los recursos biológicos presentes, determinar los posibles impactos derivados y en medida de lo posible evitar las áreas con un alto uso por la fauna silvestre (California Energy Commission, 2007; Weller y Baldwin, 2012).

Para el diseño y ejecución de los estudios de reconocimiento se deben tomar en cuenta los siguientes puntos:

1. El área de interés: puede ser todo el parque eólico, el área local usada por las especies en riesgo o por las poblaciones potencialmente afectadas. Esto puede depender de la facilidad de acceso al área de estudio (Anderson, 1999). Otros autores recomiendan evaluar toda el área del parque eólico y una zona buffer alrededor de 1 a 2 kilómetros (NWCC, 2007).

2. Periodo de interés del estudio: puede ser diurno, nocturno, estacional o anual (Anderson, 1999). (En el apartado de duración de los estudios y herramientas de monitoreo se mencionan los tiempos recomendados).

3. Personal necesario: Contactar a expertos en biología y ciencias ambientales para que lleven a cabo los estudios (NWCC, 2007).

4. Aspectos a evaluar: incluir evaluaciones generales del sitio, clima, topografía, uso de suelo, uso del hábitat por la fauna y abundancia de depredadores (Anderson, 1999; California Energy Commission, 2007; NWCC, 2007).

5. Estudio del hábitat: Cubrir todos los tipos de hábitat en el área inmediata adyacente al área propuesta (Anderson, 1999; California Energy Commission, 2007; NWCC, 2007).

6. Mapeo de la vegetación: evaluar el hábitat y las interacciones de las especies silvestres con éste (identificar actividades como reproducción/anidación, migración y forrajeo) (Anderson, 1999; California Energy Commission, 2007; NWCC, 2007).

7. Especies de interés: se deben determinar basándose en el comportamiento (altura de vuelo), antecedentes de mortalidades en otros parques eólicos (consultar en este documento el cuadro de especies afectadas), la abundancia de sus poblaciones, su estatus de conservación o categoría de riesgo y su importancia para la sociedad (Anderson, 1999).

8. Tiempo disponible para llevar a cabo los estudios: con base en esto se determina cómo se conducen los estudios y la cantidad de datos que se coleccionan. Varios autores recomiendan realizar los estudios durante el tiempo necesario para predecir la ocurrencia de especies a lo largo del año (Anderson, 1999; California Energy Commission, 2007; NWCC, 2007)

9. Presupuesto: siempre se debe considerar en estudios potencialmente costosos. El presupuesto no debe determinar las preguntas a contestar, pero influye

en cómo se van a responder. Va a determinar el tamaño de la muestra y por tanto el grado de confiabilidad de los resultados (Anderson, 1999).

10. Magnitud del proyecto: la magnitud del proyecto puede determinar el grado de preocupación de los impactos y la precisión requerida en los estudios previos (Anderson, 1999).

En el caso específico de los murciélagos, el objetivo principal de los estudios de reconocimiento es coleccionar información útil para estimar los impactos directos e indirectos del proyecto sobre estos mamíferos (California Energy Commission, 2007). De acuerdo con los trabajos de Higgins *et al.* (2000); la Comisión de Energía de California (2007); Kunz *et al.* (2007); Lausen *et al.* (2008) y Semarnat (2009), el diseño de los estudios debe estar enfocado para responder por lo menos las siguientes preguntas:

- ¿Qué especies de murciélagos usan el área del proyecto?
- ¿Cuál es la abundancia de cada especie de murciélagos?
- ¿Cómo varía la abundancia de las especies a lo largo del año?
- ¿En qué meses migran las especies de murciélagos presentes?
- ¿Cuáles son las rutas de vuelo?
- ¿Cómo es el comportamiento de vuelo?
- ¿Cuáles son las rutas migratorias potenciales?
- ¿Cómo se distribuyen las especies presentes?
- ¿Cómo utilizan las especies el hábitat?
- ¿En dónde se ubican las posibles zonas de anidación, alimentación o percheo en la zona y área de influencia? (aplica para aves también).
 - ¿Cuánto tiempo pasan las especies en la zona de riesgo? (área de las turbinas) y si esto varía a lo largo del día o según la estación del año.
 - ¿Cuál es la tasa de mortalidad estimada de murciélagos derivada del proyecto?
 - ¿Qué consecuencias podrían tener las colisiones sobre las poblaciones y comunidades?

- ¿Cómo se compara el uso del sitio con los datos de otros parques eólicos que tienen información sobre mortalidad?
- ¿Qué medidas de diseño y de mitigación podrían reducir los impactos?

Si al término de los estudios previos persiste una preocupación en cuanto a la presencia y uso del sitio por especies sensibles o sobre el número y tipo de especies que usan el sitio, es necesario hacer estudios de seguimiento para conocer mejor el sitio y tomar decisiones correctas. Estos estudios se deben enfocar en especies prioritarias, especies que se reproducen en el sitio, especies migratorias y especies susceptibles a colisionar (Anderson, 1999).

Un punto importante a incluir en los estudios previos es la estimación de los costos directos e indirectos de la realización de dichos estudios y de la aplicación de las medidas propuestas (Semarnat, 2009).

Además, en el estudio previo realizado se debe indicar si se van a llevar a cabo estudios de mortalidad después de la construcción del parque eólico y en caso de que no se efectúen, se deberán indicar las razones por las cuales no son necesarios estos estudios (NWCC, 2007).

Duración de los estudios:

Como se mencionó anteriormente, los estudios previos deben incluir información respecto a la abundancia, distribución y uso del hábitat de las especies de murciélagos, entre otros aspectos.

Para documentar esta información, existen diversas recomendaciones respecto a la duración del monitoreo de los murciélagos.

Lausen *et al.* (2008) sugieren que los estudios pre – construcción se lleven a cabo durante dos años, debido a que pueden existir diferencias significativas en la actividad de los murciélagos de un año a otro. Otros autores coinciden en que una

duración de un año es un periodo ideal (Kunz, 2005; California Energy Commission, 2007; NWCC, 2007).

Kunz (2005) recomienda que en los estudios se realicen durante las cuatro estaciones del año, incluyendo las épocas migratorias de primavera y otoño, así como todos los meses del verano, cuando los murciélagos son residentes, ya que existen estudios que indican que en estos meses también son susceptibles a morir en los parques eólicos (Kunz, 2005).

Otra razón para que los estudios duren por lo menos un año es que para algunos sitios se conoce poco sobre los tiempos de la actividad migratoria de los murciélagos y algunos de ellos pueden tener actividad durante todo año (California Energy Commission, 2007; NWCC, 2007).

Finalmente, los estudios de un año son importantes si el sitio puede albergar poblaciones de murciélagos residentes e incluye atributos relacionados con la actividad de los murciélagos, por ejemplo cuevas o cuerpos de agua (California Energy Commission, 2007).

Cuando no es posible realizar el monitoreo por un año completo, se debe llevar a cabo un monitoreo acústico que incluya por lo menos la migración de primavera y otoño, durante las cuales existe mayor riesgo para los murciélagos (California Energy Commission, 2007; Lausen *et al.*, 2008).

Herramientas de monitoreo

El método más comúnmente recomendado es el monitoreo acústico o ultrasónico (Sternen, 2009; California Energy Commission, 2007). Sin embargo, existen diversas herramientas para monitorear a los murciélagos, como las redes de niebla, los radares horizontales y verticales, el radar Doppler NEXRAD [WSR-88D], la imagen térmica infrarroja, la radiotelemetría, y el monitoreo acústico.

Kunz *et al.* (2007) recomiendan que en los estudios pre y post – construcción se empleen simultáneamente los métodos ya mencionados para conocer mejor la

actividad de los murciélagos, la migración, patrones de dispersión nocturnos, y las interacciones con las palas en movimiento a diferentes velocidades.

Monitoreo acústico

Los detectores acústicos son los que se usan con mayor frecuencia debido a su costo relativamente bajo y a la posibilidad de utilizarlos a largo plazo (Weller y Baldwin, 2012).

El monitoreo acústico es útil para determinar la abundancia relativa, los patrones de actividad de especies residentes y migratorias y la identificación de especies o grupos de especies (Lausen *et al.*, 2006; California Energy Commission, 2007).

Este método, usado de forma adecuada, puede proveer información confiable de la mortalidad esperada en un parque eólico (Kunz *et al.* 2007a; Weller y Baldwin, 2012), lo cual es importante para implementar medidas de mitigación (por ejemplo, cambios en las operaciones de las turbinas) y para evitar sitios de alto riesgo para los murciélagos (Weller y Baldwin, 2012).

Se recomienda realizar el monitoreo acústico para todos los sitios propuestos, a menos de que exista información detallada de que el proyecto no representa un riesgo para los murciélagos. La duración recomendada para el monitoreo es de mínimo un año (California Energy Commission, 2007).

Un factor a considerar es la densidad y la altura a la que se colocan los detectores acústicos, debido a que el uso del hábitat por los murciélagos varía verticalmente de una especie a otra, particularmente en los bosques (Arnett, 2006). Por ejemplo, la muerte de las especies que producen sonidos de baja frecuencia (con alturas de vuelo mayores), puede estar subestimada cuando los detectores acústicos se colocan a nivel del suelo (Arnett *et al.*, 2007; Weller y Baldwin, 2012).

En el estudio realizado por Weller y Baldwin (2012) en un parque eólico de 40 MW en el sureste de California, se logró una probabilidad de detección del 95% para

los murciélagos de baja frecuencia con el uso de 4 a 14 detectores a una elevación de 52 metros.

Lausen *et al.* (2008) recomiendan que todas las torres meteorológicas se usen como estaciones de muestreo con un detector a nivel del suelo (1 a 2 metros sobre el suelo) y otro detector (o micrófono) cerca de la punta de la torre (por lo menos 30 metros arriba del suelo).

Por otra parte, al realizar el monitoreo acústico pre y post – construcción se deben incluir los siguientes datos: fecha, hora, pases de murciélagos, pases totales, temperatura promedio por hora, velocidad del viento promedio por hora y precipitación por hora (Lausen *et al.*, 2008). También se debe incluir información asociada a la colocación del detector, incluyendo la altura, orientación del micrófono, ubicación relativa dentro del área y una descripción breve del hábitat del área inmediata (Lausen *et al.*, 2008).

Finalmente, se debe tener cuidado al evaluar el uso de un área por los murciélagos basándose sólo en los datos del monitoreo acústico debido a que existen dudas de cómo los murciélagos usan la ecolocación durante la migración, en comparación de cuando forrajean o vuelan entre obstáculos. Además, este método no mide el número de individuos o la densidad de población, por lo que se puede complementar con otras herramientas como las redes de niebla (California Energy Commission, 2007; Arnett *et al.*, 2007).

Número y distribución de las estaciones de monitoreo

Colocar dos sistemas de detección de murciélagos en posiciones altas y bajas en cada torre meteorológica del sitio propuesto. Elevar los “detectores de nivel de suelo” a 1.5 metros sobre el nivel del suelo para evitar la interferencia con la vegetación. Colocar los detectores elevados lo más alto posible sin que interfieran con el equipo de monitoreo climático (California Energy Commission, 2007).

Colecta y análisis de datos

Monitorear toda la noche y en el amanecer y atardecer. Consultar a un biólogo experto en murciélagos con experiencia en el análisis acústico antes de determinar el esfuerzo necesario para coleccionar y analizar los datos acústicos (California Energy Commission, 2007).

Medidas

La Comisión de Energía de California (2007) recomienda registrar el número total de pases y el promedio por detector por noche y por detector por hora (excluyendo las noches con precipitación medible).

Lausen *et al.* (2008) proporcionan mayores detalles sobre los tipos de detectores acústicos y los protocolos de monitoreo recomendados.

Redes de niebla

Las redes de niebla y el monitoreo acústico son técnicas complementarias que si se usan conjuntamente son un método efectivo para reconocer las especies presentes en un sitio (California Energy Commission, 2007; Lausen *et al.*, 2008).

Los biólogos expertos en murciélagos indican que usado como método único, las redes de niebla no son efectivas para evaluar el riesgo potencial de un parque eólico sobre los murciélagos (Kunz *et al.*, en preparación). Lausen *et al.* (2008) coinciden con esto y explican que muchos murciélagos vuelan por encima de la altura de las redes cuya base se coloca al nivel del piso, por lo cual no pueden ser registrados por este método.

Otra limitante, es que las redes se deben colocar en noches sin viento o poco viento (lo cual es raro en los sitios con potencial eólico) porque los murciélagos detectan y evitan las redes que están en movimiento (California Energy Commission, 2007).

A pesar de las desventajas mencionadas, las redes pueden ser útiles para registrar especies que son difíciles de identificar o detectar acústicamente y también para reunir información adicional como la edad, sexo y etapa reproductiva de las poblaciones locales. Este tipo de información es relevante en los estudios previos si el objetivo es evaluar los impactos potenciales del proyecto en una población local de murciélagos (California Energy Commission, 2007).

Cuando las redes de niebla se usan para complementar el monitoreo acústico, los esfuerzos de captura se deben concentrar en los sitios potenciales de vuelo, alimento, bebida o refugio (California Energy Commission, 2007).

Conteo de salidas/ Búsqueda de refugios

Dentro de los estudios previos se debe incluir una evaluación para determinar si existen murciélagos que se refugian en minas, cuevas, puentes, edificios o si existen otros sitios que provean refugio cerca del sitio propuesto para el proyecto. Si se detectan refugios activos, el conteo de salidas y la búsqueda de los refugios pueden proveer información adicional del tamaño, composición de las especies y patrones de actividad de los murciélagos en el área. Mediante la búsqueda de refugios también se pueden documentar especies que son difíciles de detectar acústicamente o capturar con redes de niebla (California Energy Commission, 2007).

Radares, imágenes infrarrojas

Durante los picos de la época migratoria de los murciélagos, de Agosto a Octubre, se puede potencializar el monitoreo acústico usando radares o cámaras infrarrojas o térmicas (California Energy Commission, 2007).

Lausen *et al.* (2008) mencionan que los radares son una alternativa al monitoreo acústico, aunque los primeros son más caros y no muy recomendados. Este método se puede usar para visualizar a los murciélagos en un volumen grande en un radio de varios kilómetros, aunque no se puede distinguir a los murciélagos de las aves.

Para mayor información sobre las técnicas recomendadas para el estudio de los murciélagos, se puede consultar una matriz desarrollada por El “Western Bat Working Group”, disponible en www.wbwg.org/survey_matrix.htm.

VII.1.3 Evaluación de los impactos

Lamentablemente, hasta la instalación mejor situada puede provocar mortalidades en la fauna. Por eso la pregunta sería ¿qué número de colisiones es aceptable?. Este número probablemente varía de una zona a otra, y depende en gran medida de las especies afectadas, especialmente si se trata de murciélagos amenazados o en peligro de extinción (Higgins *et al.*, 2000).

Determinación de los impactos directos:

De acuerdo con Lausen *et al.* (2006); el subgrupo de Mitigación (2007) y la Comisión de Energía de California (2008), con base en los estudios previos, se deben plantear las siguientes preguntas para evaluar el impacto de los parques eólicos en los murciélagos:

- ¿Cuáles especies se encuentran en el área y de éstas cuáles pueden colisionar con las turbinas?
 - ¿Existen especies listadas en alguna categoría de riesgo?
 - ¿El sitio es usado por especies cuyos hábitos de forrajeo las pongan en riesgo de colisionar?
 - ¿El sitio o las áreas adyacentes incluyen atributos del hábitat (por ejemplo, ecosistemas riparios o cuerpos de agua) que puedan atraer a los murciélagos para forrajear, reproducirse o refugiarse?
 - ¿El sitio contiene atributos topográficos donde los murciélagos se pueden mover (por ejemplo cañones o penínsulas)?
 - ¿El sitio se encuentra cerca de un punto de escala en la migración de los murciélagos?

- ¿El sitio se caracteriza por tener condiciones climáticas como niebla densa o cubierta de nubosidad baja que incrementa el riesgo de colisión para los murciélagos?
- ¿Qué tipo de turbinas se pretende instalar y en qué ubicación?

Otro punto a tomar en cuenta es que el hecho de que existan especies en categorías de riesgo que hagan uso de las áreas que las ponen en riesgo, es suficiente para determinar que existen impactos potenciales (California Energy Commission, 2007).

Por último, otra herramienta para la evaluación de los impactos potenciales es la consulta de los monitoreos de proyectos cercanos en operación (California Energy Commission, 2007).

Determinación de los impactos indirectos:

Aunque no existe tanta información al respecto, se sugieren tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Los impactos de desplazamiento y evitación de las turbinas y elementos de infraestructura asociados (California Energy Commission, 2007).
- Los impactos indirectos resultantes de las actividades de la construcción y la operación, así como del cambio de uso de suelo (por ejemplo, cambios en las prácticas de pastoreo, cambios en el suelo o introducción de semillas) que puedan atraer a los insectos y éstos a su vez atraer a los murciélagos, lo cual aumenta el riesgo de colisión (California Energy Commission, 2007).

Evaluación de riesgo:

Una herramienta que se usa para medir los impactos directos es la evaluación de riesgo de colisión. La información sobre cómo usan los murciélagos el sitio

propuesto se puede usar para hacer una evaluación cualitativa de riesgo (California Energy Commission, 2007).

En una primera fase, se realizan estudios que determinan si un uso alto del sitio por los murciélagos representa un punto crítico para la mortalidad. El siguiente nivel de los análisis de riesgo es hacer la evaluación más cuantitativa colectando datos de la abundancia y distribución temporal y espacial de los murciélagos que usan el sitio, así como datos del comportamiento y el tiempo que pasan en las áreas de riesgo y comparando esta información con la de la mortalidad en otros parques eólicos (California Energy Commission, 2007).

Efectos acumulativos

Neufeldt y Guralnik (1988) definen el término *acumulativo* como aquel que se incrementa en tamaño y cantidad, por adiciones sucesivas.

Suter *et al.* (1993) clasifican los efectos acumulativos en las siguientes categorías:

- El efecto acumulativo de una serie de acciones que tienen efectos aditivos pequeños similares. Por ejemplo, la adición individual de más turbinas en un parque eólico.
- Perturbaciones que se acumulan en el tiempo: son los efectos acumulativos que ocurren cuando las acciones están muy cercanas en el tiempo, por lo que el sistema no se ha recuperado aún de los efectos anteriores antes de que los nuevos ocurran. Por ejemplo, si los impactos de los aerogeneradores están influenciados por la experiencia de las aves con las estructuras, se podría anticipar una respuesta aprendida a los aerogeneradores después de cierto tiempo, lo que posiblemente reduciría el riesgo. Por lo tanto se podría suponer que el rápido desarrollo de un parque eólico puede tener un mayor impacto en las aves que un desarrollo que se hace por etapas.

- Efectos indirectos: son los efectos acumulativos que ocurren cuando los efectos directos de las acciones no son acumulables en el tiempo o en el espacio, pero sí lo son sus efectos indirectos. Por ejemplo, el cambio en el uso de suelo que resulta de la construcción de un parque eólico, puede no afectar el uso por las aves o generar un aumento en la mortalidad, pero sí alterar la calidad del hábitat, positiva o negativamente.

Según Anderson (1999), el análisis de los efectos acumulativos debe incluir el estudio de las interacciones entre las estructuras de los parques eólicos, otros usos de suelo y la ecología de las especies. Los efectos de los parques eólicos pueden ser aditivos, al aumentar la mortalidad más allá de la que ocurriría sin el parque; o los efectos son compensatorios al reemplazar otras fuentes de mortalidad. Los efectos son sinérgicos cuando los parques eólicos en combinación con otro uso de suelo resultan en un aumento en la tasa de mortalidad, mayor que la suma del incremento de las mortalidades que ocurriría debido a cada uno por separado. O los efectos son antagónicos cuando la asociación con otras variables reducen los impactos de los parques eólicos.

Además, se deben considerar los impactos acumulativos regionales potenciales de los múltiples proyectos eólicos presentes en el área propuesta (NWCC, 2007).

Percival (1999) menciona que es necesario recurrir a la evaluación de impactos acumulados cuando más de un parque eólico afecta a una misma población local de importancia para la conservación. Esto es particularmente importante en dos casos:

- A nivel individual, cuando una especie tiene un ámbito hogareño tan grande que incluye más de un parque eólico.
- Cuando el área que habita una población solapa en gran medida un área donde existe (o se plantea construir) una elevada densidad de parques eólicos.

Si se desean hacer estudios para evaluar los efectos acumulativos de los aerogeneradores, debe diseñarse un protocolo adecuado. Los diseños de investigación deben tomar cada aerogenerador de forma individual como las unidades básicas y los indicadores de impacto (mortalidad) deben ser atribuidos a los aerogeneradores individualmente (Anderson, 1999).

Finalmente, la Comisión de Energía de California señala que si se determina que el proyecto planteado incrementa significativamente los impactos, el promovente debe tener la responsabilidad de mitigar su parte de los efectos acumulativos.

Modelos de Análisis

Con base en el estudio de reconocimiento del sitio y la revisión de los datos existentes, se puede desarrollar una lista de preguntas de impacto, que incluya cuáles especies se encuentran en el sitio y cuáles son las que pueden ser afectadas por el proyecto. La susceptibilidad del sitio determina qué tipo de datos específicos sobre las especies se deben coleccionar y los tipos de estudios que el promovente debe realizar antes de la construcción del parque para evaluar adecuadamente los impactos potenciales en los murciélagos (California Energy Commission, 2007).

VII.1.4. Clasificación del área propuesta

Con la información de la evaluación preliminar del sitio, los sitios propuestos para el proyecto se pueden agrupar en cuatro categorías para determinar la duración y la intensidad de los estudios que se requieren antes y durante la operación. Para todos los proyectos la información base es necesaria para responder preguntas de impacto, las especies potencialmente afectadas y la magnitud de los efectos esperados (California Energy Commission, 2007):

Categoría 1: Sitios para proyectos con datos disponibles de murciélagos:

Algunos proyectos tienen la ventaja de que existe una base de datos de murciélagos y los impactos potenciales de proyectos cercanos similares. Para este

tipo de proyectos, se requiere un menor esfuerzo en los estudios. Los factores que determinan si los datos de parques eólicos cercanos permiten que el proyecto se clasifique en la categoría 1 incluyen: si los datos de campo fueron colectados con un diseño de muestra confiable; si los datos fueron colectados en relación con el sitio propuesto; si los datos existentes reflejan aspectos comparativos entre tipos de turbinas, hábitats, presencia de especies migratorias y aspectos físicos.

Si los datos están fundamentados científicamente y son relevantes, los proyectos dentro de la categoría 1 pueden no necesitar un año completo de estudios preliminares para contestar preguntas sobre el riesgo potencial de colisión. Sin embargo, se debe tener cuidado al extrapolar datos existentes a sitios cercanos que no se han estudiado, ya que cambios en la topografía o variaciones en el hábitat pueden marcar diferencias sustanciales en el uso del sitio por los murciélagos y los impactos potenciales. Adicionalmente, algunos cambios tecnológicos como el largo de las turbinas, variaciones en el diseño de éstas y el uso de iluminación diferente requieren que se colecten datos adicionales (California Energy Commission, 2007).

Categoría 2: Sitios para proyectos con poca información y sin indicadores de impactos significativos en fauna silvestre:

Los proyectos en la categoría 2 no tienen “focos rojos” que surjan de la evaluación preliminar del sitio (por ejemplo la presencia de especies en categorías de riesgo o mortalidades altas en parques cercanos) ni información de proyectos cercanos sobre la evaluación de impactos. En estos casos los estudios deben durar por lo menos un año para documentar como usan el sitio las aves y los murciélagos durante la primavera, verano, otoño e invierno.

Categoría 3: Sitios para proyectos con muchos impactos o impactos potenciales desconocidos en la fauna silvestre:

Los proyectos con un gran uso de las aves o los murciélagos o con incertidumbre de los riesgos necesitan más estudios que los de categoría 2 para

entender y formular alternativas para reducir la tasa de mortalidad. Las características que pueden hacer que un sitio entre en esta categoría son:

- Presencia de sitios usados durante la ruta migratoria de la fauna, como cuerpos de agua adyacentes al proyecto.
- Presencia de especies en categorías de riesgo en el sitio o cerca de éste.
- Sitios cercanos a parques eólicos donde se ha presentado una alta mortalidad de murciélagos

En este tipo de sitios, se recomienda hacer estudios por más de un año cuando la información de la línea base es deficiente y cuando se sospecha de una variación estacional considerable de las poblaciones de aves y murciélagos o cuando existen especies vulnerables.

Categoría 4: Sitios inapropiados para parques eólicos:

La construcción de parques eólicos se debe descartar en terrenos protegidos por el gobierno local, estatal o federal, como lo son parques o monumentos nacionales, parques regionales o reservas naturales.

También se clasifican en esta categoría los sitios para los que en existan datos que indiquen un riesgo inaceptable de mortalidad de murciélagos, especialmente si no existen medidas factibles para evitar o mitigar los impactos.

VII.2 Recomendaciones durante la operación

VII.2.1 Evaluación de los impactos

Tras la construcción de un parque eólico normalmente se emprenden programas de seguimiento para determinar si existen desviaciones significativas de los impactos previstos y para verificar que las medidas correctoras funcionan según lo esperado. La información resultante se puede utilizar para hacer recomendaciones sobre el funcionamiento del parque, identificando por ejemplo

medidas correctoras adicionales, y sobre su desarrollo futuro (Strickland *et al.*, 2003).

Búsqueda de cadáveres:

El monitoreo post- construcción incluye la búsqueda de cadáveres bajo las turbinas para determinar la tasa de mortalidad y coleccionar datos del uso de los murciélagos en el sitio. Según la Comisión de Energía de California (2007), como mínimo, los objetivos del monitoreo deben determinar los siguientes puntos:

- Si la tasa de mortalidad que se calculó en la evaluación previa del proyecto tuvo una precisión razonable.
- Si las medidas para evitar, minimizar y mitigar los impactos fueron las adecuadas o se necesitan acciones correctivas o de compensación.
- Si la tasa de mortalidad de murciélagos es baja, media o alta en comparación con otros parques eólicos.

Para realizar el monitoreo, se hacen las siguientes recomendaciones:

- Consultar a expertos en murciélagos para desarrollar una metodología adecuada para recuperar los cadáveres (Sternen *et al.*, 2009)
- Que los intervalos de búsqueda de los cadáveres no sean mayores de 24 horas debido a que los murciélagos pueden ser consumidos por los animales carroñeros unas horas después de haber muerto (Kunz *et al.*, 2007; California Energy Commission 2007; Sternes *et al.*, 2009).

VII.2.2. Seguimiento a las especies

Una vez que entra en operación un parque eólico, además de la búsqueda de cadáveres, se recomienda hacer estudios de seguimiento de las especies que usan el área.

Morrison *et al.* (2009) y Pollock (1997) proponen una clasificación para priorizar y escoger entre las especies susceptibles de seguimiento. Según estos autores, la selección de las especies en orden de prioridad sería la siguiente:

1. Población localmente rara de una especie globalmente rara.
2. Población localmente común de una especie globalmente rara.
3. Población localmente rara de una especie globalmente común.
4. Población localmente común de una especie globalmente común.

Según este esquema, son preocupantes las situaciones 1 y 2 y, a nivel local la situación 3.

Duración de los estudios de monitoreo

La duración del monitoreo debe ser suficiente para determinar si los cálculos de los impactos calculados en los estudios pre operativos fueron precisos y para determinar si las turbinas están generando mortalidades inesperadas (California Energy Commission, 2007)

Los proyectos dentro de la categoría 2 y 3 requieren estudios con recolección de cadáveres durante dos años. En los proyectos dentro de la categoría 1 se necesita sólo un año de monitoreo (California Energy Commission, 2007).

Cuando se hace el monitoreo por dos años, se deben evaluar los resultados para determinar si se hacen modificaciones para el siguiente año. Por ejemplo, para el segundo año, se puede requerir un mayor énfasis en los aerogeneradores o tipos de hábitat donde los impactos fueron mayores a los esperados, o un menor esfuerzo en las áreas con pocas o nulas mortalidades (California Energy Commission, 2007).

De forma similar, los resultados del monitoreo del primer año pueden indicar que se requiere un mayor esfuerzo de monitoreo en aquellas épocas del año donde se registraron más impactos y menos esfuerzo cuando las mortalidades fueron menores (California Energy Commission, 2007).

El monitoreo a largo plazo, más allá de dos años se justifica cuando se registran tasas de mortalidad más altas de las esperadas en los estudios previos a la operación. El objetivo de estos monitoreos es de coleccionar información para plantear medidas para evitar o mitigar los impactos y para verificar si estas medidas fueron efectivas para reducir la mortalidad. Algunos factores a considerar cuando se presentan impactos inesperados, incluyen cambios en el uso del sitio por los murciélagos debido a alteraciones en las condiciones del hábitat o en los patrones migratorios debido a variaciones en el clima que modifiquen el riesgo de colisión. (California Energy Commission, 2007).

Búsqueda de cadáveres

Se recomienda hacer la búsqueda en un 30% de las turbinas, seleccionadas al azar, por estratificación o sistemáticamente (California Energy Commission, 2007).

El área de muestreo debe ser tal que el ancho sea igual a la altura máxima del rotor. Por ejemplo, para una turbina con una altura máxima de rotor de 120 metros, el área de búsqueda sería de 60 metros de la turbina hacia cada lado. El área de búsqueda puede ser un rectángulo, cuadrado o círculo, dependiendo de la ubicación del aerogenerador y de las variaciones en el terreno. Se puede extender el área de búsqueda a zonas aledañas al área propuesta para asegurar el registro de aproximadamente el 80% de los cadáveres, sin embargo, se recomienda consultar a expertos en el área para hacer modificaciones en el área de búsqueda (California Energy Commission, 2007).

Protocolo de búsqueda

La búsqueda la debe hacer personal capacitado. Se sugiere hacer la búsqueda en un transecto de 6 metros de ancho, buscando cadáveres a una distancia de 3 metros de cada lado. El ancho del transecto se puede ajustar de acuerdo con la vegetación y las condiciones topográficas del sitio. Se deben coleccionar todos los cadáveres encontrados en las áreas de búsqueda y si es posible determinar la causa de muerte (California Energy Commission, 2007).

La búsqueda de cadáveres se puede realizar cada dos semanas durante dos años. La frecuencia del monitoreo puede ajustarse dependiendo de las tasas o la remoción de cadáveres, las especies objetivo, el terreno y otros factores específicos del sitio (California Energy Commission, 2007).

El monitoreo acústico de los murciélagos durante la operación no es recomendado a menos que existan datos en los estudios previos o que el monitoreo de la mortalidad indique que se requiere añadir el registro de la actividad de los murciélagos a la tasa de mortalidad (California Energy Commission, 2007).

Keeley *et al.* (2001) mencionan que los perros aún sin entrenamiento son más eficaces que las personas para encontrar cadáveres, debido a la dificultad de esta tarea. Por esta razón, Sternen *et al.* (2009) recomiendan el uso de perros adiestrados como una técnica alternativa de inspección del terreno.

Los diseños de muestreo y los métodos para la búsqueda de cadáveres se encuentran bien descritos por Anderson *et al.* (1999) y Morrison *et al.* (2001).

Análisis de los resultados

El grado en el que las mortalidades son consideradas significativas es subjetivo y depende de las especies involucradas. Incluso un pequeño número de cadáveres de especies raras asociados con los aerogeneradores puede considerarse significativo, particularmente durante la época reproductiva. Un número considerable de cadáveres asociados con una disminución del uso del área, particularmente al final de la época reproductiva, se puede interpretar como un efecto en la población.

VII. 3. Medidas de mitigación pre – operativas

Con la información disponible actualmente sobre los impactos de los parques eólicos sobre la fauna y teniendo en cuenta que la energía eólica experimentará en breve una fuerte expansión, conviene tomar ciertas medidas preventivas que minimicen el impacto de estas estructuras sobre las poblaciones de murciélagos (California Energy Commission, 2007; Weller y Baldwin, 2012).

A continuación se mencionan las medidas que se pueden llevar a cabo para reducir los impactos negativos generados por los parques eólicos en los murciélagos. Estas recomendaciones se basan principalmente en la selección del sitio, la colocación de turbinas y la infraestructura asociada con los parques eólicos:

Minimizar la fragmentación y alteración del hábitat:

- Aprovechar en la medida posible los caminos existentes (NWCC, 2007).
- Los caminos de acceso deben ubicarse de forma que sigan los contornos naturales de la topografía y minimizar los cortes en las laderas y el cruce de ríos (NWCC, 2007).
- Evitar llevar a cabo actividades de construcción y mantenimiento durante la época reproductiva (Abril a Julio) y si es posible, durante las migraciones (Abril a Junio y Agosto a Octubre) (NWCC, 2007).
- Evitar el uso de o degradación de áreas del hábitat importantes para la fauna (NWCC, 2007). Los estudios previos deben ser lo suficientemente detallados con mapas de los hábitats de las especies susceptibles (por ejemplo áreas riparias) así como corredores que usan los murciélagos diariamente, por temporadas del año o a lo largo del año (California Energy Commission, 2007; NWCC, 2007). Estos mapas se deben utilizar para determinar la ubicación de los caminos, cercas y otros elementos de infraestructura para minimizar la modificación y fragmentación del hábitat.
- Reducir el número de caminos y cercas (NWCC, 2007; Kelly, 2000; Sterner, 2002; Strickland *et al.*, 2001a; US Fish and Wildlife Service, 2003).
- Instalar los parques eólicos dentro de corredores ya modificados o cerca de éstos con el fin de minimizar la fragmentación y degradación del hábitat (NWCC, 2007).

Establecimiento de zonas “buffer” para minimizar los riesgos de colisión

Si los estudios previos indican que el sitio propuesto representa un peligro para los murciélagos, se deben establecer zonas buffer de no – disturbio para proteger los refugios de los murciélagos, las áreas de alto uso o el hábitat de las

especies que están en categorías de riesgo (California Energy Commission, 2007; NWCC, 2007).

Para las áreas riparias se recomienda colocar los aerogeneradores a una distancia mayor de 100 metros de éstas (California Energy Commission).

Utilizar infraestructura que minimice los impactos

- Colocar los cables de las líneas de transmisión por debajo del suelo:

Las turbinas con cables metálicos y líneas de transmisión por arriba del nivel suelo representan mayor riesgo de colisión, por lo que se recomienda enterrarlas cuando sea posible (Arnett, 2005; NWCC; 2007). Cuando esto no es posible se deben aislar con cable recubierto (NWCC, 2007). Una de las ventajas de las turbinas más nuevas es que generalmente no utilizan cables metálicos (Arnett, 2005).

Evitar proveer sitios de percha:

- Emplear las torres de tipo tubular, en lugar de las torres de entramado o reticuladas u otros diseños que proveen de perchas. Además se debe evitar proveer sitios de percha en los nacelles de las turbinas (NWCC, 2007). Además se debe evitar usar estructuras con cuerdas de cable, ya que éstas son un riesgo, sobre todo si están iluminadas. Si es necesario su colocación, usar ahuyentadores.
 - Evitar elementos que puedan atraer a los murciélagos, como estanques o acantilados (Bach, 2003; Hoover, 2002; Kelly, 2000; Rahmel et al., 2004; Sterner, 2002; US Fish and Wildlife Service, 2003).
 - Utilizar turbinas de diseños más actuales, ya que con éstas reduce el número de unidades requeridas por área (Arnett, 2005).

Ubicación de los aerogeneradores

Para tomar decisiones en cuanto a la ubicación de los aerogeneradores, los estudios previos deben ser lo suficientemente detallados para establecer los patrones normales de movimiento de los murciélagos. Esto es importante porque la

colocación de aerogeneradores que separan a los murciélagos de sus sitios de percha, alimentación o refugio o que se encuentren en áreas de alto uso representa un riesgo potencial de colisión (California Energy Commission, 2007; NWCC, 2007).

Para una adecuada ubicación de los aerogeneradores se recomienda lo siguiente:

- Evitar sitios bien conservados donde la instalación del parque eólico genere fragmentación del hábitat (Fish and Wildlife Service, 2003).
- Evitar áreas con presencia de especies de animales y plantas protegidas (Fish and Wildlife Service, 2003).
- Evitar ubicar los parques eólicos cerca de áreas de cría, descanso, invernada, rutas migratorias, refugios y cualquier otra área donde los murciélagos se concentran en gran número (Higgins *et al.* 2000, Osborn *et al.* 1996, Fish and Wildlife Service, 2003).
- Instalar los parques eólicos a una distancia de por lo menos no 1 km. de los refugios de los murciélagos. Esta distancia puede variar en cada caso dependiendo de las especies, el tamaño de los refugios y las rutas locales de vuelo (Lausen *et al.*, 2008).
- Colocar los aerogeneradores de forma paralela a la dirección principal de vuelo de la fauna (Hötter *et al.*, 2006).
- Ubicar los aerogeneradores en bloque, de forma que se dejen corredores que pueden ser usados de forma segura por las aves y los murciélagos (Albout *et al.*, 1997, 2001; US Fish and Wildlife Service, 2003, en Hötter *et al.*, 2006).
- Evitar las áreas con alta cantidad de neblina y vapor de agua (NWCC, 2007).
- Ubicar las turbinas en áreas abiertas y planas a una distancia de por lo menos 500 metros de los cuerpos de agua, habitats riparios y bordes de los bosques (Lausen *et al.*, 2008).
- Evitar valles con ubicación norte – sur y corredores naturales (Fish and Wildlife Service, 2003).

- Evadir sitios críticos (crestas de las montañas, humedales y bordes de los bosques) (Sterner, 2002; Strickland *et al.*, 2001a, Lausen *et al.*, 2006)) o usar más de 500 metros de estas áreas (Lausen *et al.*, 2006).
- No instalar los parques eólicos en sitios cercanos a humedales y bosques (Hötker *et al.* 2006).

Reducir el hábitat artificial para presas en la base de los aerogeneradores:

Las áreas aledañas a las turbinas y los caminos que se modifican por la construcción actividades operativas pueden proveer de hábitat para algunos insectos, lo cual atrae a los murciélagos, poniéndolos en riesgo. Cuando se hace el diseño del sitio, se deben tomar en cuenta estos impactos y hacer recomendaciones en las actividades de construcción para minimizar las actividades que atraen a los insectos al sitio.

Evitar el uso de iluminación que atraiga a los murciélagos:

Aunque previamente se mencionó que no está comprobado que exista una relación entre la iluminación de los aerogeneradores y una mayor mortalidad, algunos autores mencionan que cualquier fuente de luz puede atraer a los murciélagos hacia los aerogeneradores, debido a una mayor abundancia de insectos alrededor de éstos (California Energy Commission, 2007; NWCC, 2007). Con base en esto se hacen las siguientes recomendaciones:

- Usar luces destellantes con un periodo mínimo de encendido.
- Mantener la iluminación al nivel mínimo solicitado para cubrir los requerimientos de seguridad.
- Usar luces blancas con sensores que mantengan las luces apagadas cuando no se utilicen. Estas luces deben estar dirigidas de tal forma que se minimice la retrodispersión, la reflexión, la iluminación hacia el cielo y la iluminación de áreas fuera de las instalaciones.

- Reducir o evitar el uso de luces de vapor de sodio.

Considerar el uso de dispositivos que ahuyenten a los murciélagos:

Como se mencionó anteriormente, los murciélagos se orientan, capturan a sus presas y evitan obstáculos mediante sonidos ultrasónicos. Por esta razón, la emisión de ultrasonidos a partir de las turbinas puede interrumpir o saturar la percepción de ecos y ahuyentar a los murciélagos (Spanjer, 2006). Spanjer (2006) utilizó un dispositivo que emite sonido blanco de banda ancha a frecuencias desde 12.5 a 112 kHz.

En el futuro, una medida de mitigación es la instalación de detectores acústicos directamente dentro de los nacelles de las turbinas y la programación del apagado de éstas cuando los niveles de actividad de los murciélagos superan los estimado (Weller y Baldwin, 2012).

Además de los dispositivos acústicos, se pueden usar dispositivos electromagnéticos que ahuyentan a los murciélagos (Kunz *et al.* 2007b; Nicholls y Racey, 2009).

VII.4 Medidas de mitigación durante la operación

Una vez que un parque eólico está operando, las opciones para evitar o mitigar los impactos son limitadas. Por esta razón, el promovente debe plantear previamente un plan de contingencias para aplicarlo en caso de que se presenten mayores mortalidades de las esperadas (California Energy Commission, 2007).

Aunque las medidas son limitadas, existen algunas que incluyen cambios operativos y de infraestructura como las que se mencionan a continuación:

- Reforestación con plantas nativas de los caminos de acceso que no están siendo usados después de la construcción (NWCC, 2007).
- Modificación del hábitat para hacerlo menos atractivo para las especies en riesgo (California Energy Commission, 2007): cambiar el tipo o la

extensión de la cobertura vegetal, sitios de percha o la cobertura para las especies presa (NWCC, 2007).

- Cambios estacionales en la velocidad de arranque (California Energy Commission, 2007): los cambios en la velocidad mínima de viento en la cual las palas de las turbinas empiezan a rotar y generar electricidad (de 3 m/s a 6 m/s aproximadamente) ha reducido las mortalidades en tres estudios y es la única medida de mitigación para murciélagos que ha sido probada en parques eólicos en funcionamiento (Weller y Baldwin, 2012).

- Cambios periódicos en el ángulo de las palas durante noches de poco viento (California Energy Commission, 2007).

- Suspensión estacional de actividades (California Energy Commission, 2007): apagar las turbinas durante los meses en los que hay mayor número de murciélagos volando en la zona (Kelly, 2000; Sterner, 2002; US Fish and Wildlife Service, 2003; Horn *et al.*, 2008).

- Retiro o reubicación de las turbinas que generen altas mortalidades (California Energy Commission, 2007; Arnett *et al.*, 2008).

- Limitación de las operaciones durante noches de poco viento, en particular a finales del verano y otoño (Arnett *et al.*, 2008).

- Monitoreo del uso y la interacción de los murciélagos con las turbinas durante un periodo mínimo de dos años después de la instalación (California Energy Commission, 2007).

- Desmantelamiento y retiro de los aerogeneradores que no estén en funcionamiento: aunque algunos autores observaron que los murciélagos no colisionan con las turbinas monopolo, el nacelle o con las palas en reposo (Horn *et al.*, 2008), la Comisión de Energía de California (2007) recomienda remover los aerogeneradores cuando ya no están funcionando, para que no sean un riesgo de colisión. Además, menciona que como parte de la obtención de los permisos, los promoventes deben establecer un plan que describa las acciones que se van a llevar a cabo cuando algunas o todas las turbinas dejen de ser funcionales. Se debe mencionar con detalle cómo se van a desmantelar las turbinas y las estructuras asociadas.

- Reducción de la iluminación o apagar las luces durante periodos de alto riesgo si existe mortalidad debido a la iluminación (NWCC, 2007).
- Establecimiento de por lo menos un punto de chequeo de los niveles de sonido cerca de los nacelles de las turbinas, debido a la generación de sonidos ultrasónicos generados por el equipo electrónico (Szewczak y Arnett, 2006)

Para saber si las medidas de mitigación adoptadas están dando resultado, se recomienda establecer un objetivo claro, metas biológicas verificables y un periodo definido de tiempo para hacer revisiones y ajustes (California Energy Commission, 2007).

Finalmente, Weller y Baldwin (2012) sugieren que el uso de múltiples variables ambientales puede mejorar la eficiencia de las medidas de mitigación durante la operación en mayor medida que el uso de aquellas medidas basadas únicamente en la velocidad del viento.

VIII. DISCUSIÓN

De las cinco especies con mayor riesgo de colisión en Baja California, ninguna se encuentra bajo alguna categoría de riesgo en la NOM – 059 – SEMARNAT - 2010, pero la mortalidad de estos murciélagos se vuelve significativa debido a que estos mamíferos se caracterizan por un crecimiento poblacional lento (Kunz, 1982).

Las especies que mayor mortalidad reportan en Estados Unidos son migratorias y vuelan a grandes alturas, lo cual concuerda con la literatura consultada. Sin embargo, en España se han encontrado mortalidades principalmente en especies no migratorias de baja altura de vuelo, y Arnett (2008) registró mortalidades en época no migratoria, por lo que no hay que subestimar el riesgo en especies residentes.

Como parte de los factores biológicos que influyen en la colisión, se menciona la edad. En este aspecto existen discrepancias entre los autores. Por una parte, algunos suponen que los individuos más jóvenes son más susceptibles; Lausen *et al.* (2008) mencionan que los murciélagos de todas las edades pueden ser afectados; y Arnett (2008) documentó la mayoría de las mortalidades en animales adultos.

Otro aspecto en el que se encontraron diferencias en los hallazgos de los estudios consultados, es el tipo de vegetación dentro de los parques eólicos y su relación con las mortalidades. Se conoce que los murciélagos prefieren las zonas boscosas y se supone que las mortalidades en estas zonas son mayores. Pero como lo sugiere Arnett (2007) y con los hallazgos de Kunz *et al.* (2007) se puede concluir que las mortalidades no están limitadas a este tipo de vegetación.

En la bibliografía revisada, se encontró poco documentado el fenómeno del barotrauma como parte de las causas de muerte en los murciélagos, sin embargo, según los hallazgos de Baerwald *et al.* (2008), el barotrauma es una causa de muerte más significativa que el contacto directo con las palas.

En cuanto a los elementos de infraestructura, algunos autores coinciden en que las turbinas de mayor tamaño representan un mayor riesgo de colisión para los murciélagos, mientras que otras fuentes mencionan que no existen los estudios suficientes para afirmar esto. Por esta razón, vale la pena realizar estudios más específicos referentes a este punto.

Por otra parte, la literatura menciona que debido a motivos económicos, la tendencia actual es hacia el uso de aerogeneradores de mayor tamaño y rendimiento, sin embargo, en los estudios realizados por Gómez (2001), se concluyó que con la tecnología actual, lo más grande no significa lo más barato.

De los autores consultados, algunos son más específicos que otros en cuanto a los aspectos que se deben incluir en los estudios previos para el monitoreo de los murciélagos, pero los que la mayoría mencionan son: 1) la diversidad de especies en la zona 2) la abundancia de las especies 3) la variación de la abundancia de las especies a lo largo del año 4) la distribución de las especies en la zona 5) el tiempo que pasan las especies en las zonas de riesgo y la variación de su actividad a lo largo del año 6) las rutas de vuelo 7) la tasa de mortalidad estimada derivada del proyecto 8) las medidas de mitigación que pueden reducir los impactos.

De los ocho puntos mencionados, solamente dos no son mencionados o no están claramente especificados en los requisitos señalados por Semarnat: cómo es la distribución local de las especies en la zona y cuánto tiempo pasan las especies en las zonas de riesgo de colisión.

De acuerdo con lo mencionado, parecería que los estudios requeridos por Semarnat son casi completos, sin embargo, si se revisan los tópicos que se recomienda tomar en cuenta para una adecuada evaluación de impacto, faltaría que la Semarnat pidiera incluir en los estudios previos los siguientes aspectos:

- ¿De las especies presentes en el área cuáles pueden colisionar con las turbinas?. (Por ejemplo, ¿el sitio es usado por especies cuyos hábitos de forrajeo las pongan en riesgo de colisionar?).

- ¿El sitio o las áreas adyacentes incluyen atributos del hábitat (por ejemplo, ecosistemas riparios o cuerpos de agua) que puedan atraer a los murciélagos para forrajear, reproducirse o refugiarse?
- ¿El sitio contiene atributos topográficos donde los murciélagos se pueden mover (por ejemplo cañones o penínsulas)?
- ¿El sitio se encuentra cerca de un punto de escala en la migración de los murciélagos?
- ¿El sitio se caracteriza por tener condiciones climáticas como niebla densa o cubierta de nubosidad baja que incremente el riesgo de colisión para los murciélagos?

En cuanto a las herramientas de monitoreo, varios autores mencionan diferentes ventajas y desventajas de cada uno de ellos, pero en general coinciden en que el monitoreo acústico es el más recomendado, y el monitoreo se mejora si se emplean diversas técnicas de forma simultánea. Una recomendación que es importante resaltar es que en el monitoreo se deben registrar variables como la velocidad del viento, temperatura y precipitación, entre otras.

En la revisión bibliográfica referente a las medidas de mitigación, se encontró que en varios documentos se mencionan múltiples medidas, a pesar de que todavía existen dudas sobre algunos aspectos del impacto de los parques eólicos en los murciélagos. Algunas de estas medidas están documentadas para las aves, pero se pueden aplicar también para los murciélagos.

IX. CONCLUSIONES

De las especies de las que se tiene registro para Baja California (20 especies), el 75% se distribuyen en Sierra de Juárez (15 especies). De las especies presentes en el estado, cinco tienen mayor riesgo de ser afectadas por los aerogeneradores y tres de éstas se distribuyen también en Sierra de Juárez.

El riesgo de colisión de los murciélagos con los aerogeneradores resulta de una combinación de factores que incluyen aspectos biológicos propios de las especies, condiciones climáticas y elementos de infraestructura de los parques eólicos, por lo que al evaluar el impacto de un proyecto de este tipo, se deben tomar en cuenta estos factores.

Según la literatura consultada, de acuerdo con sus características biológicas, las especies que pueden ser más afectadas por los parques eólicos son las especies migratorias y las que vuelan a mayores alturas (31 a 39 m.).

Los factores ambientales asociados con mayores mortalidades son la época del año (temporada migratoria, a finales del verano y principios del otoño); la temperatura ambiental (mayor a 10° C); las noches de poco viento (velocidad del viento menor a 6 m/s); la dirección del viento hacia el suroeste; los días anteriores y posteriores a las tormentas y la presencia de niebla densa en el área.

Los elementos de infraestructura relacionados con los impactos negativos en murciélagos, incluyen principalmente aerogeneradores de mayores dimensiones; los sonidos acústicos y ultrasónicos producidos por las turbinas y los cambios en la presión atmosférica generados por el movimiento de las palas (lo que produce el barotrauma).

Es necesario realizar estudios previos del área propuesta que contengan toda la información necesaria referente a las especies y al hábitat para que se cuente

con la información base para una adecuada evaluación del impacto de los parques eólicos sobre la quiropterofauna.

Los estudios de monitoreo de los murciélagos deben tener una duración mínima de un año, cubriendo por lo menos la temporada migratoria y mediante el uso de detectores acústicos y otras técnicas complementarias como las redes de niebla.

Además, es importante mencionar que cada área propuesta para proyectos eólicos es única, por lo que su evaluación no puede ser idénticas en todos los casos, sin embargo hay principios generales que se pueden aplicar.

Aunque todavía existen dudas sobre las causas de colisión, con la información existente es posible establecer medidas de prevención y mitigación. Las medidas de mitigación pre – operativas se deben enfocar en una adecuada selección del sitio, la ubicación de los aerogeneradores y el uso de infraestructura que minimice los impactos.

Como parte de las medidas de mitigación durante la operación, la manipulación de las turbinas dependiendo de la velocidad del viento puede ser efectiva, sin embargo es importante considerar que la actividad de los murciélagos responde a múltiples factores ambientales, además de la velocidad del viento. Si las medidas de mitigación se enfocan en los periodos de mayor riesgo (basándose en los factores ambientales) se puede reducir las mortalidades de forma significativa.

Como conclusión final, con el presente trabajo se muestra que existe un impacto de los parques eólicos sobre la quiropterofauna y éste se encuentra documentado, sin embargo, debido a distintas causas, está subestimado. Los autores consultados mencionan que no se debe restar importancia a las mortalidades de los murciélagos, sobre todo teniendo en cuenta la magnitud de las plantas eólicas previstas para el futuro.

Si se quiere minimizar los impactos negativos de los parques eólicos sobre los murciélagos, es necesario difundir la información existente así como la colaboración de las autoridades y los promoventes de la industria eólica.

Finalmente la elaboración de trabajos como éste es importante para identificar y sintetizar la información existente y así identificar por ejemplo, patrones de las mortalidades de los murciélagos en distintos países e identificar en qué aspectos se requiere realizar más estudios.

X. REFERENCIAS:

- Agosta S. (2002). Habitat use, diet and roost selection by the Big Brown Bat (*Eptesicus fuscus*) in North America: a case for conserving an abundant species. *Mammal Rev.* Great Britain, .32 (2), pp.179–198.
- Aguirre, L. F. (2007). Historia Natural, distribución y conservación de los murciélagos de Bolivia. Santa Cruz: Editorial: Centro de Ecología y Difusión Simón I. Patino. Santa Cruz, Bolivia.
- Alcalde J.T. (2003). Impacto de los Parques Eólicos sobre las poblaciones de murciélagos (Informe Núm. 3). Madrid: Sociedad Española para la Conservación y Estudio de los Murciélagos.
- Álvarez – Castañeda, Ticul, S., Patton, J.L. (1999). Mamíferos del Noroeste de México. La Paz: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste,S.C.
- Anderson, R., Morrison M., Sinclair K. (1999). Studying wind energy/bird interactions: a guidance document metrics and methods for determining or monitoring potential impacts on birds at existing and proposed wind energy sites. Washington D.C: National Wind Coordinating Committee.
- Arita H.T. y Martínez- del Río C. 1990. Interacción Flor-Murciélago: Un enfoque zocentrico. UNAM. Publicaciones especiales del Instituto de Biología 4. México.
- Arnett, E.B., M.M.P. Huso, D.S. Reynolds, y M. Schirmacher (2007). Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in northwest Massachusetts. (An

annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative). Texas: Bat Conservation International.

Arnett, E.B, Kent, B, Wallace P.E., J.K. Fiedler, B.L. Hamilton, Travis H.H., Tennessee Aaftab, J., Gregory D.J., Kerns J., Koford, . Nicholson, C.P., O'Connell, T.J., PIORKOWSKI, M.D., Tankersley, R.D. (2008). Patterns of Bat Fatalities at Wind Energy Facilities in North America. *Journal of Wildlife Management*, 72(1), 61–78. doi: 10.2193/2007-221

Arnett, E.B., M. Schirmacher, M. M. P. Huso, y J. P. Hayes (2009). Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. (An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative). Texas: Bat Conservation International.

Arriaga, L., J.M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (coordinadores) (2000). *Regiones terrestres prioritarias de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.

Asociación Empresarial Eólica (2011). Información básica. Recuperado de <http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/preguntas-frecuentes/>

Atienza, J.C., I. Martín Fierro, O. Infante, J. Valls y J. Domínguez (2011). *Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0)*. SEO/BirdLife, Madrid: SEO/BirdLife.

Bach, L. (2002). Auswirkungen von Windenergieanlagen auf das Verhalten von Fledermäusen am Beispiel des Windparks „Hohe Geest“, Midlum. Bericht der

Arbeitsgemeinschaft zur Förderung angewandter biologischer Forschung im Auftrag der KW Midlum GmbH & Co. KG, Freiburg, Niederelbe.

Baerwald, E.F., Genevieve H. D'Amours, Brandon J. Klug y Robert M.R. Barclay. (2008).

Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotorsize and tower height. *Canadian Journal of Zoology*, 85, 381–387.

Briones-Escobedo N. (2005) .Hábitos alimentarios de murciélagos urbanos como herramienta para su conservación en Ensenada, Baja California, México. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Baja California. México.

California Energy Commission (CEC) & California Department of Fish and Game. 2007.

California Guidelines for Reducing Impacts to Birds and Bats from Wind Energy Development, 2007. . California Energy Commission & California Department of Fish and Game. CEC-07-2007-008-CMF. Recuperado de <http://www.energy.ca.gov/windguidelines/>

Castillo J. (2012). Problemática en torno a la construcción de parques eólicos en el Istmo de Tehuantepec. *Revista Desarrollo Local Sostenible Grupo Eumed.net y Red Académica Iberoamericana Local Global*, .4 (Vol 124), pp. 1 – 14. N° 12 pp.1

Ceballos G. T.H. Fleming, C. Chavez y J. Nassar 1997. Population dynamics of *Leptonycteris curasoae*: Phyllostomidae) in Jalisco, Mexico. *Journal of Mammalogy*. Vol. 78, 4:1220-1230
Ceballos G.T. y Oliva G. (2005). Los mamíferos silvestres de México. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Fondo de Cultura Económica.

CETENAL. 1977. Carta Geológica IID84 "Arroyo del Saúz", 1:50000.

Cleveland C.J., Betke M., Federicoi P. Frank J (*et al.* 2006). Economic value of the pest control service provided by Brazilian free-tailed bat in south-central Texas. *Frontiers in Ecology and the Environment*. Vol.4 (5), pp. 238-243

Comisión Federal de Electricidad (2006). Manual de Vigilancia de la Fauna (aves y quirópteros) en la zona de influencia de la central eólica La Venta II. Banco Mundial. Recuperado de http://www.wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2006/11/01/000011823_20061101155903/Rendered/PDF/E13040v20PLANVIGFINAL.pdf.

CONANP. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2011). Plan de Manejo Parque Nacional Constitución de 1857. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de www.conanp.gob.mx/que_hacemos/pdf/...manejo/PM_constitucion.pdf.

Couoh-de la Garza. (2005). Estado de conservación de la quiróptero fauna en el matorral Rosetofilo Costero de Baja California, México. (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Baja California, México.

Cryan P.M. y Barclay R.M. (2009). Causes of bat fatalities at wind turbines: hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy*, 90(6), pp.1330–1340.

Delgadillo J. (1998) Florística y ecología del norte de Baja California. Ensenada: UABC.

- Dürr, T. (2003). Windenergieanlagen und Fledermausschutz in Brandenburg - Erfahrungen aus Brandenburg mit Einblick in die bundesweite Fundkartei von Windkraftopfern. En: Kommen die Vögel und Fledermäuse unter die (Wind)räder, Dresden (17.-18).
- Everaert, J., Devos, K. y Kuijken, E. (2002). Windturbines en Vogels in Vlaanderen. Instituut voor Natuurbehoud, Brussels.
- Flores Rojas, G.E. (2006). *Composición de la quiropterofauna de Sierra San Pedro Mártir y Sierra Juárez, Baja California, México*. (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California.
- Global Wind Energy Council (GWEC) y Greenpeace International. The Global Wind Energy Outlook 2008. Recuperado de <http://www.gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/gweo-2008/España>. 291 pp.
- Gómez L.M. (2001). Aspectos relevantes de energía eólica "Windpower 2001". Ciudad de México: Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.
- Gonzalez - Avila M.E., Beltran-Morales L.F., Troyo-Dieguez E., Ortega-Rubio A (2006). Potencial del aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México. *Interciencia*, 31, (04), 240-245.
- Guevara Carrizales, A.A. (2008). *Propuesta de sitios prioritarios para la conservación de la Quiropterofauna en el Área de Protección de Flora y Fauna del Valle de los Cirios, Baja California*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada.

Guevara, C.A., Martínez G.R. (en preparación). Parques eólicos y murciélagos: Una experiencia en Baja California, México. Universidad Autónoma de Baja California. 1

- 9

Hall, R. 1981. The mammals of North America. Vol 1. New York: Wiley-Interscience Publication.

Heithaus R. E. 1982 En Kuntz T.H. Ecology of Bats. Plenum Publishing Corporation. USA.

Higgins, K.F, Osborn R.G., Naugle D.E. (2000). Efectos de las turbinas sobre las aves y los murciélagos en el suroeste de Minnesota (Estados Unidos). En: Lucas M, Janss G, Ferrer M (Ed.), Aves y parques eólicos, valoración del riesgo y atenuantes (pp. 163 – 186). Madrid: Quercus.

Hinojosa C. (2011). La Sierra de Juárez a través de los mapas. En Muñoz V. (Ed.), Sierra de Juárez. Patrimonio natural e histórico de Baja California (pp. 120 – 125). Tijuana: Conaculta.

Horn, J.W., Arnett, E.B., Kunz T.H. (2006). Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. *Journal of Wildlife Management*, 72(1),123–132. doi: 10.2193/2006-465

Hötker, H., K. Thomsen, H. Jeromin (2006). Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy resources: the example of birds and bats – facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation. Bergenhusen: Michael-Otto-Institut im NABU. Michael-Otto-Institut im NABU, Bergenhusen. 65 pp.

Huey L.M. (1964). The mammals of Baja California, Mexico. Transaction. San Diego: San Diego Society of Natural History.

Hutson, .A. Mickleburgh S. and Racey P. (Eds.). (2001). Microchiroptera Bats. IUCN Publication. Cambridge: IUCN Publication.

INEGI. (2014). Relieve de Baja California. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/bc/territorio/relieve.aspx?tema=me&e=02>.

Jain, A., P. Kerlinger, R. Curry, y L. Slobodnik. 2007. Annual report for the Maple Ridge wind power project post-construction bird and bat fatality study–2006. Annual report prepared for PPM Energy and Horizon Energy, Curry and Kerlinger LLC. New Jersey: Cape May Point. Recuperado de <http://www.batcon.org/windliterature>.

Johnson, G.D., Young, D.P., Erickson, W,P., Strickland, M.D., Good, R.E., Becker, P. (2000). Avian and bat mortality associated with the initial phase of the Foote Creek Rim Windpower Project, Carbon County, Wyoming: November 3, 1998 – October 31, 1999. (Technical Report). Wyoming: West, Inc.

Johnson, G. D., Erickson, W. P., Strickland, D. M., Shepherd, M. F., Shepherd, D. A. y Sarappo, S. A. (2003). Mortality of Bats at a Large-scale Wind Power Development at Buffalo Ridge, Minnesota. *Am. Midl. Nat.* 150, 332

Johnson, G. D., “A Review of Bat Impacts at Wind Farms in the U.S.,” Proceedings of Wind Energy and Birds/Bats Workshop: Understanding and Resolving Bird and Bat Impacts, Washington, DC, May 17–

19, 2004, prepared by RESOLVE, Inc., Washington, D.C., September 2004. Recuperado de

www.awea.org/pubs/documents/WEBBProceedings9.14.04%5BFinal%5D.pdf.

Johnson, G. D., "A Review of Bat Mortality at Wind-Energy Developments in the United States," *Bat Research News*, Volume 46, Issue 2, 2005, pp. 45–49.

Isselbacher, K. e Isselbacher, T. (2001). Vogel- schutz und Windenergie in Rheinland-Pfalz. En *Naturschutz und Landschafts- pflege*, (1-183). Oppenheim.

IUCN. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. (2014). Red List of Threatened Species, version 2014.2. Recuperado de <http://www.iucnredlist.org/>

Keeley, B., Ugoretz, S., Strickland, D. (2001). Bat ecology and wind turbine considerations. En Schwartz, S.S. (Ed.), *Proceedings of the National Avian Wind Power Planning Meeting IV*, Carmel (135 – 141). Washington: Resolve.

Kelly, T. A. (2000). Radar, Remote Sensing and Risk Management. En *Proceedings of National Avian - Wind Power Planning Meeting III* (Ed.) (152-161). California: LGL Ltd.

Kunz, T. H., "Roosting Ecology of Bats," in T. H. Kunz (ed.), *Ecology of Bats*, Plenum Press, New York, 1982, pp. 1–55. Kunz, T. H. (1982). Roosting Ecology of Bats. En T. H. Kunz (Ed.), *Ecology of Bats* (pp. 1 – 55). New York: Plenum Press.

- Kunz T.H., Arnett E.B., Erickson W.P., Hoar A.R., Johnson G.D., Larkin R.P., Strickland M.D., Thresher R.W. y Tuttle M.D. (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Front Ecol Environ*, 5 (6), pp. 315 – 324.
- Kuvlesky, W. P., Jr., L. A. Brennan, M. L. Morrison, K. K. Boydston, B. M. Ballard, y F. C. Bryant. (2007). Wind energy development and wildlife conservation: challenges and opportunities. *Journal of Wildlife Management*, 71, 2487–2498.
- Lausen, C., Baerwald E., Gruver J., Barcklay R. (2008). Bats and Wind Turbines. Pre-siting and pre-construction survey protocols. En Vonhof M. (Ed.), *Handbook of Inventory Methods and Standard Protocols for Surveying Bats in Alberta* (Appendix 5 pp.1 – 13). Alberta: Alberta Sustainable Resource Development, Fish and Wildlife Division.
- Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente. *Diario Oficial de la Federación* (2012). 04/06/12. Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.
- Martínez G.R., Guevara C.A., Escobar F.J. (En revisión). *Mamíferos de Sierra de Juárez, Baja California, México*. Grupo de Manejo de Vida Silvestre. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California.
- Medellín R. A., Arita H.T. y Sánchez O.H. (1997). Identificación de los Murciélagos de México, claves de campo. *Asociación Mexicana de Mastozoología*,. Publicaciones especiales Num. 2. México.

- Minnich R. 1999. La vegetación mediterránea de Baja California. Fremontia. Revista de la Sociedad de las Plantas Nativas de California. Edición especial. pp. 4 – 15.
- Moreno-Valdez A. (1997). Murciélagos de Nuevo León. Monterrey: Impresora Monterrey. Nuevo León. México.
- Morrison M.L., Sinclair K.C., Thelander C.L. (2009) Protocolo de muestreo para estudiar la influencia de los parques eólicos sobre aves y otros animales. En: Lucas M, Janss G. F., Ferrer M. (Eed.), Aves y parques eólicos, valoración del riesgo y atenuantes (pp. 105 – 121). Madrid: Editorial Quercus.
- NWCC National Wind Coordinating Collaborative. Mitigation Subgroup (2007). Mitigation Toolbox.
- NORMA Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación (2010).
- Osborn, R.G., Higgins, K.F., Dieter, C.D., Usgard, R.E. (1996). Bat collisions with wind turbines in southwestern Minnesota. Bat Research News, 37, 105 – 108.
- O'Sheal T. & Bogan M. (2003). Monitoring trends in Bats Populations of the United States and Territorios: Problemas and Prospects. USA: U.S. Geological Server, Biological Resources Discipline. USA.

- Percival S.M. (1999). Predecir los efectos de los parques eólicos sobre las aves en el Reino Unido: el desarrollo de un método de evaluación objetivo. En: Lucas M, Janss G, Ferrer M (ed) Aves y parques eólicos, valoración del riesgo y atenuantes. Editorial Quercus. España. 145 pp.
- Pierson E. (1998). Tall trees, deep holes and scarred landscapes: Conservation biology of north America bats. En Kunz T. y Racey P. (Eds.), Bats Biology and conservation. Kunz T. y Racey P. (Eds) USA:. Smithsonian Institution Press. USA.
- Racey, P. A., yand A. C. Entwistle.(2000),. “Life History and Reproductive Strategies of Bats,.En” in E. G. Crighton and P. H. Krutzsch (Eeds.), Reproductive Biology of Bats (363 – 414). New York: , Academic Press., New York, 2000, pp. 363–414.
- Ramírez-Pulido J, J. Arroyo-Cabrales y A. Castro-Campillo (2005). Estado Actual y Relación Nomenclatural de los Mamíferos Terrestres de México. Acta ZoologicaZoológica I Mexicana, . México. 21(1), pp.: 21-82.
- Riechers Pérez A. Martínez-Coronel M. Vidal López R. 2003. Consumo de polen de una colonia de maternidad de *Leptonycteris curasoae yerbabuenae* en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología 74(1): 43-66.
- Secretaría de Economía (2013). “Energías renovables”. Recuperado de Extraída el 24/IX/2013 desde http://mim.promexico.gob.mx/wb/mim/energias_perfil_del_sector.
- Semarnat. (2013). Trámites. Recuperado de <http://tramites.semarnat.gob.mx/>.

Semarnat. Departamento de Impacto y Riesgo Ambiental en Baja California (2009).

Información requerida sobre la fauna para los estudios previos para la construcción de parques eólicos.

Spanjer, G. R. (2006). Responses of the big brown bat, *Eptesicus fuscus*, to a proposed acoustic deterrent device in a lab setting. A report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative and the Maryland Department of Natural Resources. Austin: Bat Conservation International.

Sterner D., Orloff S., Spiegel L. Investigación sobre colisión con aerogeneradores en Estados Unidos. En: Lucas M, Janss G, Ferrer M (ed) Aves y parques eólicos, valoración del riesgo y atenuantes. Editorial Quercus. España. 83 pp.

Strickland D, Erickson W, Young D, Johnson G (2003). Selección de estudio para evaluar el efecto de la energía eólica sobre las aves. En: Lucas M, Janss G, Ferrer M (ed) Aves y parques eólicos, valoración del riesgo y atenuantes. Editorial Quercus. España. 123 pp.

Szewczak, J.M., Arnett E.B. (2006). Ultrasound emissions from wind turbines as a potential attractant to bats: a preliminary investigation.

Tuttle M. y Moreno-Valdez A. (2005). Murciélagos cavernícolas del norte de México, su importancia y problemas de conservación. Austin: Bat Conservation International. Austin, Texas. USA

US FISH AND WILDLIFE SERVICE. (2003). Interim guidelines to avoid and minimize wildlife impacts from wind turbines. Washington: United States Department of the Interior, Fish and Wildlife Service.

USAID, Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. 2009. Elementos para la Promoción de la Energía Eólica en México, 2009. Washington, DC: U.S. Recuperado de <http://www.amdee.org/Recursos/sectorial>

Villa R. B. (1976). Los Murciélagos de México. Ciudad de México: Universidad Autónoma de México, Instituto de Biología.

Weller, T.J., Baldwin, J.A. (2012). Using Echolocation Monitoring to Model Bat Occupancy and Inform Mitigations at Wind Energy Facilities. *The Journal of Wildlife Management*, 76(3), 619–631.; doi: 10.1002/jwmg.260