

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



RETOS Y OPORTUNIDADES EN EL DESARROLLO DE LA  
ENERGÍA EÓLICA Y VERTEBRADOS VOLADORES EN EL  
NORESTE DE MÉXICO

POR

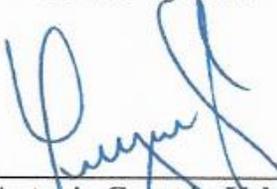
VALERIA ABIGAIL MORENO ZAVALA

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CONSERVACIÓN, FAUNA SILVESTRE Y  
SUSTENTABILIDAD

2022

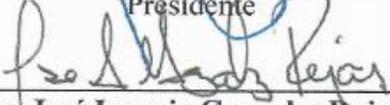
**RETOS Y OPORTUNIDADES EN EL  
DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA Y  
VERTEBRADOS VOLADORES EN EL  
NORESTE DE MÉXICO**

**Comité de Tesis**



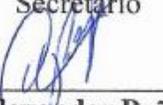
---

**Dr. Antonio Guzmán Velasco**  
Presidente



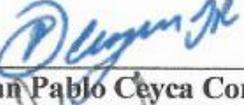
---

**Dr. José Ignacio Gonzales Rojas**  
Secretario



---

**Dr. Luis Alexander Peña Peniche**  
Vocal



---

**Dr. Juan Pablo Ceyca Contreras**  
Vocal



---

**Dra. Susana Favela Lara**  
Vocal



---

**Dra. Katiushka Arévalo Niño**  
Subdirectora de Posgrado

DERECHOS RESERVADOS© PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL Todo el material contenido en esta Tesis está protegido, el uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material contenido que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde se obtuvo mencionando al autor o autores.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco de una manera muy especial al Dr. Antonio Guzmán Velasco por su apoyo, enseñanzas y paciencia.

A la Dra. Emma Gómez Ruíz quien estuvo al pendiente de mi proyecto en cada paso, me alentó y enriqueció con su experiencia no solo mi trabajo, sino mi desarrollo académico y profesional.

A Katia, Miguel, Andrés y Daniel que me dieron su apoyo siempre que me atoraba, me desalentaba o no entendía algo, terminar el posgrado no hubiera sido posible sin ustedes.

## **DEDICATORIA**

A ti que me alentaste, me apoyaste, ayudaste y cuidaste durante todo el proceso desde la decisión de empezar a estudiar de nuevo hasta el día de hoy, Te amo.

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>FUNDAMENTACIÓN</b>	<b>2</b>
INTRODUCCIÓN .....	2
ANTECEDENTES .....	5
1. Aspectos básicos de la energía eólica .....	5
1.1 Origen .....	5
1.2 ¿Cómo funciona la energía eólica? .....	5
1.3 Potencial eólico .....	6
2. Beneficios de la energía eólica .....	8
2.1 Ambientales .....	8
2.2 Socioeconómicos .....	9
3. Impactos ambientales .....	9
3.1 Impactos en la manufactura y mantenimiento.....	9
3.2 Impactos sociales.....	10
3.3 Impactos durante la operación del parque.....	10
3.3.1 Impactos Indirectos.....	11
3.3.2 Impactos en la avifauna.....	12
3.3.2.1 Internacionales .....	13

3.3.2.2 México .....	16
3.3.3 Impactos en murciélagos .....	18
3.3.3.1 Internacionales .....	19
3.3.3.2 México .....	21
3.4 Sesgos en muestreos.....	22
3.5 ¿Cómo afecta la ubicación de los parques eólicos?.....	23
JUSTIFICACIÓN .....	24
HIPÓTESIS .....	25
OBJETIVOS .....	26
1.1 General .....	26
1.2 Particulares .....	26
<b>MÉTODO</b> .....	<b>27</b>
1. Área de estudio .....	27
1.1 Parque Eólico Coahuila.....	27
1.2 Parque eólico Tamaulipas .....	28
2. Metodología .....	29
2.1 Monitoreo de vertebrados voladores .....	30
2.1.1 Estimación riqueza .....	31
2.1.2 Búsqueda de Carcasas.....	31
2.1.2.1 Corrección de sesgos.....	31

2.1.2.1.1 Eficiencia de la búsqueda.....	32
2.1.2.1.2 Remoción de Carcasas.....	32
2.1.2.2 Estimación de mortalidad .....	34

**RESULTADOS** **35**

---

I. Mortalidad de vertebrados voladores por Parque eólico .....	35
1. Parque Eólico Coahuila 1.....	35
1.1 Riqueza de aves .....	35
1.2 Riqueza de murciélagos .....	41
1.3 Búsqueda de carcasas.....	41
1.3.1 Aves .....	42
1.3.2 Murciélagos .....	43
1.4 Tasa de mortalidad .....	43
1.4.1 Tasa de eficiencia del buscador .....	43
1.4.2 Tasa de persistencia de cadáveres .....	43
2. Parque Eólico Tamaulipas (PET) .....	44
2.1 Riqueza de aves.....	44
2.2 Riqueza de murciélagos .....	50
2.3 Búsqueda de carcasas .....	52
2.3.1 Aves .....	52
2.3.2 Murciélagos .....	53
2.4 Tasa de mortalidad .....	54

2.4.1 Tasa de eficiencia del buscador .....	54
2.4.2 Tasa de persistencia de cadáveres.....	54
II. Impactos Acumulativos.....	56
<b><u>DISCUSIÓN</u></b> .....	<b>57</b>
1. Parques Individuales.....	57
1.1 Parque Eólico I en Coahuila.....	57
1.2 Parque Eólico II en Tamaulipas.....	62
2. Impactos acumulativos.....	65
<b><u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u></b> .....	<b>69</b>
<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b> .....	<b>70</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Relación entre la viabilidad del viento para uso como fuente de energía Extraída de Clancy et al. 1994.....	5
Tabla 2.	Cantidad de aerogeneradores en el muestreo.....	29
Tabla 3.	Listado de aves registradas en el Parque Eólico I en Coahuila .....	26
Tabla 4.	Especies listadas en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-2010 SEMARNAT o la Lista Roja (UICN) Parque Eólico I en Coahuila.....	35
Tabla 5.	Registro de carcasas de aves encontrados durante el monitoreo anual 2017- 2018 en el Parque Eólico I localizado en Coahuila.....	39
Tabla 6.	Registro de carcasas pertenecientes a murciélagos durante el monitoreo anual 2017-2018 en el Parque Eólico I localizado en Coahuila .....	40
Tabla 7.	Tasa media de eficiencia en el Parque Eólico I localizado en Coahuila ...	42
Tabla 8.	Tiempo de persistencia en cada estación de los cadáveres por categoría de tamaño con sus intervalos de confianza al 95% en el Parque Eólico I localizado en Coahuila .....	42
Tabla 9.	Tasas de mortalidad estimadas para aves y murciélagos con sus intervalos de confianza al 95% durante el período anual 2017-2018 en el Parque Eólico I localizado en Coahuila.....	43
Tabla 10.	Tasas de mortalidad para cada tamaño con sus intervalos de confianza al 95% por estación climática y anual en el Parque Eólico I localizado en Coahuila en el período 2017-2018.....	44
Tabla 11.	Listado de aves registradas en el Parque Eólico II en Tamaulipas.....	47
Tabla 12.	Especies listadas en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-2010 SEMARNAT o la Lista Roja (UICN) en el Parque Eólico II en Tamaulipas .....	49

Tabla 13.	Listado de murciélagos registrados Anual en el Parque Eólico II en Tamaulipas.....	51
Tabla 14.	Registro de carcasas de aves encontrados durante el monitoreo anual 2020-2021 Anual en el Parque Eólico II en Tamaulipas.....	52
Tabla 15.	Registro de carcasas pertenecientes a murciélagos durante el monitoreo anual 2020 Anual en el Parque Eólico II en Tamaulipas.....	53
Tabla 16.	Tasa media de eficiencia .....	53
Tabla 17.	Tiempo de persistencia en cada estación de los cadáveres por categoría de tamaño con sus intervalos de confianza al 95% Anual en el Parque Eólico II en Tamaulipas.....	54
Tabla 18.	Tasas de mortalidad estimadas para aves y murciélagos con sus intervalos de confianza al 95% durante el período anual 2020-2021 Anual en el Parque Eólico II en Tamaulipas.....	54
Tabla 19.	Tasas de mortalidad para cada tamaño con sus intervalos de confianza al 95% por estación climática y anual Anual en el Parque Eólico II en Tamaulipas.en el período 2020-2021 .....	55

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Área de estudio
- Figura 2. Ejemplo de remoción de carcasa
- Figura 3. Curva de acumulación de especies de aves por esfuerzo de muestreo, con IC95%, para los muestreos realizados (rarefacción basada en muestras, Colwell et al 2004). Anual en el Parque Eólico I localizado en Coahuila
- Figura 4. Comparativa de la riqueza registrada para aves en campo con los estimadores de riqueza Chao1 (amarillo; Chao 1984; Chazdon *et al.*, 1998), Chao 2( rojo; Chazdon *et al.* 1998) en el Parque Eólico I localizado en Coahuila
- Figura 5. Curva de acumulación de especies de murciélagos por esfuerzo de muestreo, con IC95%, para los muestreos realizados (rarefacción basada en muestras, Colwell et al 2004). Anual en el Parque Eólico I localizado en Coahuila
- Figura 6. Comparativa de la riqueza registrada para murciélagos en campo con los estimadores de riqueza Chao1 (amarillo; Chao 1984; Chazdon *et al.*, 1998), Chao 2( rojo; Chazdon *et al.* 1998) en el Parque Eólico I localizado en Coahuila
- Figura 7. Curva de acumulación de especies de aves por esfuerzo de muestreo, con IC95%, para los muestreos realizados (rarefacción basada en muestras, Colwell et al 2004). Anual en el Parque Eólico II en Tamaulipas.
- Figura 8. Comparativa de la riqueza registrada para aves en campo con los estimadores de riqueza Chao1 (amarillo; Chao 1984; Chazdon *et al.*, 1998), Chao 2( rojo; Chazdon *et al.* 1998) en el Parque Eólico II en Tamaulipas..
- Figura 9. Curva de acumulación de especies de murciélagos por esfuerzo de muestreo, con IC95%, para los muestreos realizados (rarefacción basada en muestras, Colwell et al 2004). Anual en el Parque Eólico II en Tamaulipas..

Figura 10. Comparativa de la riqueza registrada para murciélagos en campo con los estimadores de riqueza Chao1 (amarillo; Chao 1984; Chazdon *et al.*, 1998), Chao 2( rojo; Chazdon *et al.* 1998) en el Parque Eólico II en Tamaulipas.

## **LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS**

GEI	Gases de efecto invernadero
IIE	Instituto de Investigaciones eléctricas
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DOF	Diario Oficial de la Federación
MFV	Monitoreo de Fauna Voladora: Aves, Murciélagos y Mariposas Monarca
PEC	Parque Eólico en Coahuila
PET	Parque Eólico en Tamaulipas

## RESUMEN

La energía eólica se ha adoptado como una estrategia mundial para la reducción de los gases de efecto invernadero por sus múltiples beneficios ambientales. Como una tecnología en desarrollo, la industria de la energía eólica aun presenta dificultades para minimizar los impactos en su aplicación, sobre todo en la fauna silvestre. Los vertebrados voladores son los más afectados, pues suelen colisionar con las aspas de los aerogeneradores, los tendidos eléctricos, sufrir barotraumas, electrocuciones, desplazamiento de sus áreas de refugio y nidificación y fragmentación del hábitat poniendo en peligro la continuidad de las poblaciones en alguna categoría de riesgo. En México, la capacidad instalada de la energía eólica está aumentando considerablemente como una transición hacia un modelo energético sostenible pero la información sobre los impactos no ha logrado alcanzar el ritmo de crecimiento de la industria, resultando en datos insuficientes o nulos que evitan que se puedan evaluar los beneficios reales y potenciales en nuestro país, así como establecer medidas efectivas de mitigación. El presente estudio analizó la información de 2 parques eólicos que se encuentran en el noreste del país como un primer paso para conocer la problemática de la energía eólica y los vertebrados voladores en el noreste de México. Se encontró una tasa de mortalidad de 2.63 aves/MW/año (5.53 aves/aerogenerador/año) para aves y 29.40 Murciélagos/MW/año (61.73murciélagos/aerogenerador/año) para el parque eólico ubicado en Coahuila; mientras que para Tamaulipas se encontró una tasa de mortalidad de 1.33 aves/MW/año (4.6 aves/aerogenerador/año) y 3.48 Murciélagos/MW/año (12.07/aerogenerador/año). Con base a los MW por estado se hizo una aproximación de la mortalidad de aves y murciélagos al año por ambos estados, resultando 3,325 aves /año y 17,639 murciélagos/año.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la humanidad se enfrenta a severos problemas ambientales, indiscutiblemente inducidos por las actividades antropogénicas (PNUMA 2001). Uno de los más urgentes es el cambio climático global el cual está provocado principalmente por el incremento acelerado de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Su incremento está sucediendo en intervalos de tiempo cada vez más cortos debido al uso de combustibles fósiles como: carbón, petróleo y gas natural. Estos combustibles de origen fósil son utilizados para la producción de energía y también todos aquellos procesos que se derivan del cambio en el uso del suelo y la silvicultura (SEMARNAT 2009). La explotación y dependencia de los combustibles fósiles trae consecuencias que amenazan el desarrollo de los países, y la integridad de los ecosistemas a nivel global.

Los gases de efecto invernadero antropocéntrico más importantes son: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) metano ( $\text{CH}_4$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ) y clorofluorocarbonos (CFCs) (Barbosa, 2013.) Dentro de estos gases, la concentración del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) se considera una de las más elevadas (Benjamín et. al. 2001). En tan solo el 2015 se reportó según la SEMARNAT, 638 millones de toneladas en México, siendo el 70% de éstas derivadas del consumo de combustibles de origen fósil por el sector energía.

Ante tal panorama, la humanidad se ha planteado acciones para dejar de lado los modelos de producción que están basados en los combustibles fósiles para usar modelos más sostenibles. Una de las estrategias más prometedoras para combatir el cambio climático es la mitigación de la liberación de gases de efecto invernadero con el uso de energías limpias y/o renovables. Durante el acuerdo de París celebrado en el 2016, México en sus planes de acción climática presentados se compromete a una reducción de 25% de sus emisiones de GEI y de contaminantes climáticos de vida corta, así como la reducción de emisiones en un 35% en el sector industria a base de energías limpias para el 2024 (CENAPRED 2015).

En el sector energía, la eólica, se posiciona como una tecnología líder por sus ventajas ambientales, y viabilidad económica (Regueiro, 2010). Tan solo en México al año se evitan 560 mil toneladas de CO<sub>2</sub> gracias a ellas (AMDEE, 2019). Para la obtención de la energía eléctrica a partir del viento se han desarrollado los aerogeneradores, los cuales se instalan en grupos formando parques eólicos, que a pesar de no generar contaminación por desechos o emisiones si producen impactos en el ambiente (Regueiro, 2010). Las principales problemáticas que se presentan en los parques eólicos en México son la contaminación auditiva, degradación del paisaje, contaminación del suelo y agua; conflictos por propiedad de tierra y afectación a la vida silvestre (SEGOB 2015).

La vida silvestre que se ve principalmente afectada con la construcción de los parques eólicos son los vertebrados voladores: aves y murciélagos. Esto es debido a que están expuestos a colisiones con las torres, las aspas, barotraumas, pérdida de hábitat, el efecto barrera, desplazamiento, destrucción de nidos y nidadas, electrocución, e interrupción de patrones migratorios (Johnson et al 2002, Cryan y Barclay 2009, Atienza et al 2011).

Si bien, en México existen estudios sobre los impactos a vertebrados voladores en los parques eólicos, estos estudios resultan insuficientes para una valoración real de la problemática, debido a que la información se fragmenta al hacer estudios aislados sin tomar en cuenta el impacto en conjunto. Es por eso por lo que este trabajo está enfocado en estudiar la problemática de los vertebrados voladores en los parques eólicos ubicados en el noreste de México, así como analizar en qué medida contribuyen a mitigar o agravar las problemáticas en torno a la pérdida de biodiversidad de aves y murciélagos prioritarios para nuestro país.

# ANTECEDENTES

## 1. Aspectos básicos de la energía eólica

### 1.1 Origen

La energía eólica resulta del aprovechamiento de la energía cinética producida por los vientos que, a su vez son causados fundamentalmente por la radiación solar (Cavallo et al. 1993). La superficie terrestre absorbe esta radiación ocasionando diferentes presiones y densidades atmosféricas que provocan el movimiento del aire produciendo los vientos (Mendoza 2018). Los vientos varían en magnitud y dirección debido a la rotación e inclinación de la tierra, cambios estacionales y la capacidad de absorción solar de las diferentes superficies terrestres que tiene nuestro planeta (Moragues y Rapallini 2004). Más cerca de la superficie terrestre, a menor escala geográfica, los factores que afectan la magnitud del viento son el relieve, tipo de vegetación y la altitud (Rudnick 2006). Por esta razón, las zonas del ecuador y sus alrededores presentan mayor potencial eólico (Mendoza 2018). Debido a su origen, la energía eólica es considerada una fuente renovable e inagotable, la cual seguirá produciéndose mientras el sol irradie energía. También es considerada una fuente de obtención limpia, que no genera gases contaminantes en la magnitud que lo hace la energía proveniente de fuentes convencionales (González-Ávila et al. 2006).

### 1.2 ¿Cómo funciona la energía eólica?

Para poder aprovechar la energía cinética de los vientos y convertirla en energía eléctrica, se crearon los aerogeneradores. Los aerogeneradores pueden ser de diferentes tamaños, modelos y capacidades, de acuerdo con sus usos (Delgado et al., 1999; Schreiber et al., 2019). Están conformados por la veleta, las palas, el buje, la góndola, el eje lento, la multiplicadora, el eje rápido, el generador, la torre, y el transformador. ACCIONA (2016) describe las partes y el funcionamiento del aerogenerador de la siguiente manera, iniciando con (1) la veleta la cual es la encargada de indicar la dirección del viento para que la góndola gire sobre su propio eje y pueda aprovechar los vientos donde sea que provengan; Seguidos por (2) las palas o aspas, que están fabricadas con materiales ligeros y resistentes para captar la mayor cantidad de energía cinética del viento al ser movidas por él. Se estima que pueden funcionar a partir de vientos con una velocidad de 3 m/s y

paran a los 25 m/s (Cobreiro y Jiménez 2014). El largo de la pala varía de acuerdo con el modelo del aerogenerador, pero puede llegar a medir hasta 60m. (3) El buje es el que une las aspas a la góndola por medio del eje lento; (4) El eje lento gira a la misma velocidad que las palas; (5) La multiplicadora que como su nombre lo dice, eleva la velocidad del eje lento x100 y la trasfiere al eje rápido. (6) El eje rápido, (7) El generador, el cual aprovecha la energía cinética del eje rápido para crear electricidad. (8) La góndola, que encierra dentro el eje lento y rápido, la multiplicadora, y el generador. (9) La torre, que aparte de elevar las palas, transporta por su interior la energía eléctrica producida a un transformador. Y por último (10) el transformador eleva la tensión y permite que la energía eléctrica sea transportada a una subestación.

Es justo en la manufacturación del aerogenerador donde la energía eólica provoca su mayor impacto en el ambiente (IDEA-APPA, 1999, Osmani et al., 2013).

### 1.3 Potencial eólico

Es importante empezar diciendo que no todo el viento sirve para generar energía. Se estima que solamente el 2% de la energía proveniente de la radiación solar se puede transformar en energía eólica (IDEA 2006, SEGOB 2015). Esto es debido a que un aerogenerador para funcionar necesita vientos moderados. Clancy y colaboradores en 1994, en su trabajo “Guía de Energía” publicaron un primer indicador sobre las relaciones generales entre la viabilidad y velocidad del viento para uso como fuente de energía (Tabla 1).

Tabla 1. Relación entre la viabilidad y velocidad del viento para su uso como fuente de energía. Extraída de Clancy et al. 1994

Promedio anual de velocidad del viento a 10m de altura	Posibilidad de uso de energía eólica
Menos de 3 m/s	No viable
3-4 m/s	Puede ser una buena opción para equipos eólicos de bombeo de agua, poco viable para generación eléctrica.
4-5 m/s	Aerobombas, aerogeneración con sistemas autónomos es viable
5-6 m/s	Viable para aerobombeo y aerogeneración con sistemas autónomos
Más de 6 m/s	Viable con aerobombeo, aerogeneración con sistemas autónomos y para sistemas conectados a la red eléctrica.

Para evaluar el potencial eólico de un lugar no es suficiente con la velocidad del viento, aunque si es uno de los factores más importantes. También se deben considerar la variación en el tiempo o constancia y la densidad del aire (temperatura y presión atmosférica) (Mendoza 2018). En el 2006, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) describió los siguientes tres parámetros de los cuales depende la cantidad de energía que puede contener el viento:

1. La velocidad del viento incidente: Esto debido a que la energía cinética del viento aumenta proporcionalmente a la velocidad elevada al cubo.
2. La densidad del aire: La energía aumenta de forma proporcional a la masa por unidad de volumen de aire. Es decir, transmite mayor energía cuando el aire es más denso (más frío).
3. El área de barrida por el rotor: Es decir; mientras más área de barrida tenga el rotor, mayor energía cinética proveniente del viento obtendrá.

Los lugares que se utilizan son aquellos que tengan más de 2 mil horas al año de producción eólica o potencia máxima (SEGOB 2015). Según estudios realizados en el 2010 por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), México tiene potencial eólico. Es considerado como el cuarto país latinoamericano con mayor potencial eólico (IRENA 2019). Se calcula un potencial de más de 50,000MW para el país (AMDEE 2015). Los estados con mayor potencial eólico son: Oaxaca, Tamaulipas, Yucatán, Baja California Sur, Sonora, Coahuila, Quintana Roo, Sonora, Hidalgo y Zacatecas (González-Ávila et al 2006, EVWind 2018).

México se comprometió en el 2012 en la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) a disminuir el uso de energía eléctrica de fuentes fósiles en un 35 % para el 2026 (SENER 2012, García 2019). La Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) reportó que solo se necesita utilizar 17,000 MW de capacidad eólica disponible para alcanzar esa meta.

Actualmente México cuenta con 56 parques repartidos en 15 estados de la república mexicana. Esto equivale a casi 4 millones 200mil hogares mexicanos alimentados por energía limpia proveniente del viento anualmente (SEGOB 2015, Kahabaga 2019,

AMDEE 2021). Si bien el potencial eólico de México es innegable, para lograr alcanzar y aprovecharlo es de vital importancia conocer sus impactos para poder mitigarlos.

## **2. Beneficios de la energía eólica**

Entre los principales beneficios de la obtención de energía mediante el recurso eólico se pueden encontrar aquellos que representan una ventaja para el ambiente (beneficios ambientales); y los que favorecen a la sociedad por medio del ingreso económico (beneficios socioeconómicos).

### **2.1 Beneficios ambientales**

Enfrentar el cambio climático se ha vuelto de vital importancia para todas las naciones del mundo. Esto las motivó a buscar tecnologías energéticas las cuales puedan suplir la demanda de electricidad, que en la actualidad está basada en la quema de combustibles fósiles (Benjamín et. al. 2001). Según la Asociación Mexicana De Energía Eólica (2018) la emisión de gases de efecto invernadero de los combustibles fósiles es 31 veces superior al de las energías renovables. En nuestro país, el 87% de la energía eléctrica es generada en centrales termoeléctricas a partir de combustibles fósiles (AMDEE, 2020). Debido a esto México, está posicionado dentro de los 40 países del mundo que generan más gases contaminantes (Liver et al 2014).

En este panorama, el mayor beneficio de la energía eólica es la disminución de gases de efectos invernadero. Tan solo en el 2018, se estima que se evitaron 157 mil toneladas de dióxido de carbono en el mundo (EWEA,2019). Esto ayuda a mitigar el cambio climático y promueve el desarrollo sostenible de los países (AMDEE 2009, Jaramillo y Borjas 2010, SEGOB 2015, ACCIONA 2019).

Otra de sus ventajas ambiental es la seguridad energética, ya que no contribuye al agotamiento de reservas de combustibles fósiles y en sí, la energía eólica proviene del sol, por lo tanto, es inagotable (Manwell y MCGowan 2009, Bergara et. al 2014).

La conservación del agua también es uno de los beneficios que se le pueden atribuir a la energía eólica. Los aerogeneradores, a comparación de plantas de obtención de energía de diferentes fuentes, no necesita agua en sus procesos para la producción de energía ni

para enfriar el equipo, en este sentido, mientras más energía se genere con la energía eólica menos agua se usará (Manwell y Mcgrowan 2009, Jaramillo y Borjas 2010).

## **2.2 Beneficios socioeconómicos.**

Un efecto positivo de la disminución de los GEI es que, al evitar la contaminación, se disminuyen las enfermedades respiratorias, lo cual se ve reflejado en la economía del país y la calidad de vida de pobladores (AMDEE 2018). En Baja California se estima que el ahorro anual gracias a un parque eólico es de 103,000 millones de dólares por cuestiones de sanidad (Juárez y León 2014).

La generación de trabajo es considerada otro de los beneficios socioeconómicos. Sin embargo, los empleos son de mediano plazo, con una duración de 1 año y medio durante la construcción y después sólo es necesario 1 persona por cada 3 aerogeneradores (Juárez y León 2014). Las personas beneficiadas de la localidad donde se instala el parque eólico son pocas y con una remuneración mínima. (Juárez y León 2014); En cambio Baranda (2007) estima que de los 220,000 empleos que se crean para la fabricación instalación, mantenimiento y operación de los parques eólicos, solo 350 son de la comunidad donde se instalarán y de esos, solo 7 puestos serán de tiempo completo durante los años de operación del parque.

## **3. Impactos ambientales**

Aunque el desarrollo de la energía eólica trae beneficios importantes al ambiente, el proceso de construcción, instalación, mantenimiento y operación de los parques no es libre de impactos.

### **3.1 Impactos en la manufactura y mantenimiento.**

Debemos tener en cuenta que un parque eólico está formado por los aerogeneradores, cables de interconexión, estaciones de transformación de energía, estaciones meteorológicas, carreteras, e infraestructura auxiliar (Drewitt y Langston

2006). Castillo, en el 2011 reporta que, para la fabricación de los aerogeneradores, las tecnologías utilizadas y para el transporte (ya sea de exportación o de importación), se liberan al ambiente emisiones contaminantes que no son tomados en cuenta a la hora de calcular la totalidad de los beneficios y emisiones de GEI de los parques eólicos.

Para la instalación del parque eólico se requiere de la eliminación de vegetación en el terreno para posicionar los aerogeneradores, las centrales y la formación de caminos, ocasionando fragmentación de hábitat, aumentando el riesgo de erosión y desplazando la fauna silvestre (Regueiro 2011, Atieza et al 2008, Vázquez y Zepeda 2020).

Otro impacto reportado, es en el mantenimiento anual de los aerogeneradores. Para mantenerlos en buenas condiciones se utilizan aceite sintético, solventes y pinturas que en promedio generan 115 litros derramados por aerogenerador, provocando contaminación del suelo y agua de la zona (Castillo 2011).

### **3.2 Impactos Sociales**

En México existen conflictos con los pobladores de las zonas por la propiedad de la tierra, debido al casi nulo beneficio hacia los pobladores locales (Juárez y León 2014, SEGOB 2015), el pago injusto por la renta a largo plazo de sus territorios y la reducción de la capacidad productiva de los terrenos agrícola y agropecuarias (SEGOB 2015). Si bien es cierto que las centrales eólicas solo ocupan el 1% del suelo y que las actividades agropecuarias podrían continuar (Manwell et al 2002) la situación para las poblaciones locales en México es diferente, ya que, una vez instalado el parque eólico, el acceso a las tierras queda prohibido por las empresas privadas (Juárez y León 2014, Castillo 2011).

### **3.3 Impactos durante la operación del parque.**

Por otra parte, durante la operación del parque eólico, se pueden señalar otros impactos como la contaminación auditiva producida por los aerogeneradores (Jaramillo y Borjas 2011), interferencia electromagnética afectando las telecomunicaciones (Castillo 2011) y contaminación visual, la cual depende en gran medida de la precepción de los

pobladores que, hasta la fecha, ha sido negativa (Atienza et al. 2008). Sin embargo, el impacto más significativo de la energía eólica es en los vertebrados voladores (Saidur et al 2011). Se tiene registrado que, durante la operación, son las aves y los murciélagos la fauna más impactada, debido a colisiones con las torres, con las aspas, líneas eléctricas, barotraumas, pérdida de hábitat, efecto barrera, electrocución e interrupciones de patrones de migración y anidamiento (Johnson et al., Manville 2005, Cryan y Barclay 2009, Atienza et al 2011). Estos impactos se pueden clasificar en directos e indirectos y se explicarán a continuación:

Las colisiones con torres, aspas o cualquier parte de la estructura de la turbina incluidas las líneas eléctricas, son de los más comunes y por lo tanto los más estudiados (Drewitt y Langston 2006). Estos impactos en su mayoría causan la muerte de los vertebrados voladores que colisionan; sin embargo, existen otro tipo de impacto que no han sido poco estudiados, estos son los que no son mortales en el momento, pero ocasionan lesiones, provocan que la fauna sea depredada fácilmente al impedirle el vuelo o dejarla en malas condiciones provocando la muerte días más adelante (Moorman 2019). Los riesgos de colisión dependen de diversos factores como lo son: el comportamiento, condiciones climáticas, topografía, la iluminación y ubicación del aerogenerador; Las aves son la fauna más afectada por colisiones directas. (Drewitt y Langston 2006, Moorman 2019).

### **3.3.1 Impactos indirectos**

El barotrauma, se produce en la fauna silvestre por la reducción rápida de la presión del aire, en este caso provocado por las aspas de los aerogeneradores, ocasionando lesiones y hemorragias internas en órganos como pulmones (Rollins et al 2012); Baerwald y colaboradores (2008) afirman que los murciélagos solamente colisionan con las aspas en movimiento a diferencia de las aves y que la mayor causa de mortalidad en murciélagos son los barotraumas (Baerwald et al 2008, Ontario Ministry of Natural Resources 2011) Sin embargo, Rollins y colaboradores (2012) afirman que la lesión por colisión es la

principal causa de la muerte de los murciélagos y clasifica al barotrauma como algo poco frecuente.

La pérdida de hábitat, el efecto barrera y la interrupción de los patrones de migración y anidamiento están relacionados. Se les considera impactos indirectos que ocasionan cambios que afectan la viabilidad de las especies (Drewitt y Langston 2006). La fauna que se ven más afectadas por estos impactos son las que presentan fidelidad a los sitios de reproducción, anidación, migración, alimentación u obtención de agua (Drewitt y Langston 2006). La fauna silvestre que tiende a presentar dicha fidelidad y es migratoria regresa a los mismos sitios, aunque el sitio haya sido modificado, lo cual puede resultar perjudicial si al llegar no encuentra los recursos necesarios o si existe una barrera como sería el caso de los aerogeneradores. En el caso de los murciélagos, se tiene reportado, que algunas de las especies migratorias y residentes presentan fidelidad a su sitio de reproducción, cría, alimentación y a las fuentes de obtención de agua (Albino y Guillen SF, Rainho y Palmeirim 2011, Guixé et al 2018). Para las aves se tiene reportado que también presentan alta fidelidad a los sitios de invierno y descanso, anidación y reproducción (Woodcock y Woodcock 2007, De los Milagros et al 2012). Asimismo, las especies que no presentan este comportamiento también son afectadas debido a que son forzadas a desplazarse, de su área de alimentación, reproducción y migración, aumentando la probabilidad de mortalidad debido a el gasto energético mayor (Moorman et al 2019).

### **3.3.2 Impacto en la avifauna**

La mortalidad de aves en los parques eólicos es poco significativa, al resultar menores que aquellas que son causadas por otras actividades antropogénicas, especies invasivas, colisión con ventanas de edificios, por la obtención de energía de otras fuentes e incluso la mortalidad provocada por el mismo cambio climático (Drewitt y Langston 2006, Jaramillo y Borjas 2010, Erickson et al 2011, Saidur 2011, AMDEE 2018). Sin embargo, en algunos de estos estudios se pierde de vista, que esa tasa de mortalidad de aves en parques eólicos, puede ser significativa a nivel población, para las especies longevas, con ciclos de vida lentos, o especies en alguna categoría de amenaza.

Por otra parte, se ha demostrado que algunas aves pueden evitar los aerogeneradores cuando tienen acceso cercano a una alternativa de alimentación o anidación, sin embargo, no todos los casos son así (Percival 2005). En otras especies la perturbación conduce a una reducción en la reproducción por lo tanto una perturbación en sus hábitats puede ser significativos en determinadas situaciones (Percival 2005, Villegas-Patracca et al 2014, AMDEE 2018).

Según lo reportado por Palmer y Petracci en el 2017, los grupos de aves más vulnerables son las rapaces, migratorias, especies en estado crítico de extinción, distribución restringida, endémicas o aquellas que presentan exhibición en el vuelo y las aves del orden passeriformes (Moorman et al 2019).

### **3.3.2.1 Impactos en la avifauna global**

En el Reino Unido, hasta el 2006 se tenían un total de 101 parques eólicos pequeños en funcionamiento con un total de 1234 aerogeneradores; los cuales no generaban impactos significativos en aves (Drewitt y Langston 2006). Sin embargo, Drewitt y Langston prevén que, si se llegase a desarrollar a gran escala, si representaría una amenaza potencial a la avifauna del país.

España es uno de los países con más investigaciones sobre los impactos de aves ocasionado por los parques eólicos, debido a la elevada mortalidad que han presentado por estar localizados en zonas de migración importantes y a mediaciones de colonias reproductivas (Del Moral 2009) En el 2008 se estimó que en este país al año morían alrededor de 19,000-1 millón de aves por la energía eólica (Atienza, 2008). Para el 2012, los impactos se registraron entre 6 a 18 millones de vertebrados voladores al año por las 18 mil turbinas instaladas en el país (Subramanian 2012). En el estrecho de Gibraltar, se reportaron 8 ejemplares de una especie declarada en peligro en tan solo 3 años, este impacto aislado, puede parecer mínimo, sin embargo, para una especie que su población mundial está en declive y en esfuerzos de conservación es muy significativo (COCN et al 2008). Asimismo, en este país se tiene reportada una alta mortalidad de *Gyps fulvus* por colisiones directas, provocando un descenso considerable en la población que amenaza

su supervivencia. (Del Moral 2009). Para los parques eólicos costeros de España, también se presentan un alto número de colisiones; en el año se estiman que en promedio mueren 23- 123 aves por turbina (Percival 2005).

En Sudáfrica en el 2011 se realizó un trabajo de investigación donde se concluyó que el impacto más importante de los parques eólicos en el país era sobre el desplazamiento de las especies, el cual fue empeorando con la instalación de centrales a gran escala o varias en un mismo sitio (Jeckins 2011).

En cuanto al continente americano, Estados Unidos es el país con mayor cantidad de información disponible, ya que se considera uno de los lugares pioneros del continente en desarrollar tecnología e instalar parques eólicos (Manwell et al 2009). Estos estudios reportan mortalidad de aves diferentes de acuerdo con la ubicación, cantidad de aerogeneradores y esfuerzo en búsqueda. Por ejemplo, en un estudio de 4 años en Bungalow Ridge en Minnesota, en varios parques eólicos con un total de 354 aerogeneradores, se buscaron en 91 de estos, carcassas de aves y con el fin de comparar la mortalidad, también se buscaron en zonas donde no tuvieran la influencia de los aerogeneradores. Se encontró que 30 aves de 15 especies distintas mueren en parcelas sin relación con los parques eólicos; mientras que 55 aves de 31 especies fueron encontradas muertas en las zonas con influencia de aerogeneradores en parques eólicos. De estas 31 especies, se registró en su mayoría aves paseriformes (76%) seguidas por aves acuáticas (9.1%) y en tercera posición de frecuencia aves rapaces y de tierras altas (5.5%). El estimado de mortalidad de aves en este estudio fue de 265 aves por año en 1998 y 383 en 1999 (Johnson et al 2000).

En otro estudio post construcción en el “Mountaineer Wind Energy Center, Virginia, E.U.A. de abril a noviembre del 2003 se monitorearon 44 aerogeneradores y 2 torres meteorológicas en búsqueda de carcassas; se encontraron 169 carcassas de 24 especies, siendo el 70% aves cantoras migratorias de hábitos nocturnos y 8 individuos de especies de aves consideradas grandes como aguililla cola roja, buitres y patos siendo la primavera y verano las épocas del año donde se registraron la mayoría de estas (Kerns y Kerlinger 2004).

Para el estado de Iowa, E.U.A. se ha reportado una baja mortalidad de aves. En el período de abril a diciembre del 2003 y 2004, en un total 89 aerogeneradores encontraron solamente en el 2003, 4 aves pertenecientes a las especies: *Vireo flavifrons* y *Tachycineta bicolor*; y Cinco en el siguiente año de las especies *Buteo jamaicensis*, *Regulus satrapa* y 3 no identificadas. Durante este estudio no se observaron aves volando alrededor de las zonas, según los investigadores las aves no se acercaban a más de 30m. Otro dato importante que se debe mencionar es que tomaron en cuenta la eficiencia de búsqueda (Jain 2005)

En el 2012, se estimó en E.U. A, 573,000 aves muertas a causa de parques eólicos, de las cuales 83, 000 eran rapaces, consideradas de los grupos más vulnerables por su ciclo de vida lento y su preferencia por los corredores de viento, también apreciados por la industria eólica (Smallwood 2012, Subramanian 2012). Uno de los lugares con mayor mortalidad de aves rapaces registradas es Altamont Pass California, donde se estima que 65 águilas reales mueren al año por colisiones con aerogeneradores, sumando un total de 650 águilas desde el inicio de la operación del parque hasta la fecha (Smallwood 2012). Durante estudios realizados en el 2009, en esta área se reportó que los aerogeneradores con mayor velocidad presentaban más colisiones de aves rapaces, también se encontró una correlación inversa con el aumento del tamaño de la turbina eólica y la mortalidad de las aves rapaces, al igual se registró que los aerogeneradores ubicados en cañones reportaban mayor número de colisiones de aves (Thelander y Smallwoow 2009). Asimismo, se encontró una relación positiva entre la tasa de mortalidad de gavilanes y la agregación de madrigueras de roedores (Thelander y Smallwoow 2009). También se tiene registrado muertes de *Gymnogypus californicus*, especie en peligro crítico de extinción, *Grus americanus* y muertes por los postes de tendidos eléctricos de los parques eólicos (Smallwood 2012, Subramanian 2012).

Si bien ha habido daños graves en especies en peligro de extinción, en este país, este daño no ha quedado del todo impune; tal es el caso en el 2013 en Wyoming, E. U. A donde se reportó la muerte de 163 aves protegidas por la Ley Federal del Tratado de Aves Migratorias en un período de 5 años, por causa de dos parques eólicos de la zona que en conjunto constan de 176 aerogeneradores ubicados en terrenos agrícolas. Entre

las aves reportadas se encontraban 14 águilas reales, mirlos, reyezuelos, gorriones y alondras. Las empresas reconocieron su culpabilidad a desarrollar los parques eólicos en zonas donde sabían que la tasa de mortalidad de aves sería alta, por lo tanto, fueron acreedores de multas por 1-2,5 millones de dólares y se les ordenó implementar planes de mitigación (Department of Justice, EUA, 2013).

El siguiente año, se estimó en el 15 % del total de parques eólicos de EUA y Canadá la mueren de 368, 000 aves, de las cuales 230, 000 eran paseriformes, con un promedio de 78% migratorias protegidas en el listado de especies en peligro de los dos países (Erickson et al 2014, Kunz et al 2007).

### **3.2.2.1 Impacto en Avifauna mexicana**

En un estudio realizado en el 2018 se realizó una síntesis de las especies de aves de México que se encuentran en alguna categoría de riesgo. Se encontró que, de 1123 aves registradas en el país, 655 especies se encuentran listadas en alguna categoría de amenaza en la NOM-059-2010, CITES, BirdLife International 2015 o la IUCN (The International Union for Conservation of Nature's Red List of Threatened Species) Asimismo se reportó que la población de 416 especies está en declive y 185 están severamente amenazadas (Navarro-Sigüenza et al 2014, Ortiz-Pulido 2018).

Si bien en México no se cuenta con la información necesaria para la valoración real de los riesgos e implicaciones de la producción de energía eólica a gran escala (SEGOB 2015), algunos de los autores e instituciones sostienen que la mortalidad de aves en los desarrollos eólicos en México, al igual que los globales, es mínimo y de igual manera aseguran que el impacto es difícil de predecir por la poca experiencia en la materia en nuestro país (AMDEE 2018, Jaramillo y Borjas 2010).

A pesar de que la asociación mexicana de energía eólica para el 2018 tiene registrado 54 parques eólicos en operación en México, la información publicada que se puede encontrar de los impactos en los vertebrados voladores es muy poca y es poco accesible, la mayoría de los trabajos sobre los parques eólicos se centran en la problemática social en torno a la energía eólica, dejando de lado la parte ambiental o mencionándola

rápidamente. A continuación, se exponen algunos casos encontrados sobre los impactos de los parques eólicos en México.

La mayor cantidad de parques eólicos del país se encuentran en el estado de Oaxaca, en el Istmo de Tehuantepec; el cual aparte de tener el potencial eólico más prometedor para el país y mayor potencial económico en el mundo por la fuerza del viento (AMDEE 2018); es reconocido por su utilización como zona migratoria de aves en el continente americano, pasando por ahí el 90% de la población mundial de *Buteo swainsonii* y *Larus pipixcana* (Ruelas et al 2010, Ruelas et al, 2000 y Blidstein 2006). Asimismo, se tiene reportada a *Passerina rositae*, *Aratinga strenua* y *Aimophila sumichrastii*, aves endémicas que habitan en las áreas donde se han instalado parques eólicos (Ruelas et al 2010, Ruelas et al, 2000 y Blidstein 2006). Para el 2009, según la Asociación mexicana de energía eólica aún no existía suficiente información para conocer el impacto real que tiene el conjunto de desarrollo eólico en la avifauna. Con el fin de acercarse a un aproximado más certero, en el 2011, se realizó un estudio en la Venta II, parque eólico que cuenta con 98 turbinas (Ledec et al 2011). Se reportaron sólo 78 aves en dos años, sin embargo Ledec y colaboradores (2011) estiman que la mortalidad es 50 veces mayor por las tasas de depredación de cadáveres y la vegetación presente en la zona, siendo el *Buteo albicaudatus* el ave rapaz más afectada. Este mismo año, se reporta que para el parque eólico Erus, ubicado en la misma zona, han sido afectadas por la alta de vuelo, la pérdida de hábitat y el efecto barrera, diferentes especies de aves en alguna categoría de riesgo según la NOM-059-2010, entre las que podemos encontrar a *Aimophila sumichrasti* catalogada en peligro de extinción, *Odontophorus guttatus* considerada en protección especial, *Aratinga holochrora*, ave amenazada, *Cairina moschata* la cual se encuentra en peligro de extinción, y *Aratinga strenua* catalogada como amenazada (Castillo 2011). Si bien la mayoría de los estudios realizados en la Venta II sugieren que el parque eólico no representa una amenaza para las aves migratorias, los autores recalcan que hace falta estudios adicionales que sean continuos y que consideren los impactos acumulativos potenciales del grupo de centrales eólicas en el istmo de Tehuantepec tanto en aves migratorias como residentes. (Ledec et al 2011) Otros autores como Villegas - Patraca y colaboradores (2014) aseguran que, si la energía eólica en el istmo sigue

creciendo en un ritmo acelerado y no se toman las medidas adecuadas, puede llegar a convertirse en un sumidero de las poblaciones locales de aves como el Aguililla *Buteo albicaudatus*.

En la Sierra de Juárez, Baja California, se encuentra otro lugar destacado en México por su potencial eólico (AMDEE 2018). Aquí se localiza el parque eólico La Rumorosa I, el cual consta de 5 aerogeneradores con una generación anual total de 27,156 MW (Zamora et al 2010). Durante una investigación realizado en el 2015 y 2016, Uribe-Rivera y colaboradores (2018) reportan la mortalidad por colisión de diferentes aves paseriformes: *Haemorhous mexicanus*; *Vireo gilvus* y *Salpinctes obsoletus*. Según Erickson y colaboradores (2014) los paseriformes son otro de los grupos con más mortalidad en los parques eólicos en Estados Unidos.

### **3.2.3 Impacto en murciélagos.**

Durante la instalación de los primeros parques eólicos no se habían tomado en cuenta a los murciélagos dentro de los estudios de impacto ambiental; la mayoría estaban dirigido a las aves, incluso la AMDEE en el 2018, aún no los mencionan dentro de los impactos negativos que tienen los parques eólicos en México. En Estados Unidos de América fue hasta el 2000 que se publicaron registro de la mortalidad de murciélagos (Kunz et al 2010). Sin embargo, la problemática de los parques eólicos con respecto a la muerte de murciélagos debe tomarse con seriedad y considerarse como un problema de prioridad, debido a que los murciélagos son muy sensibles a los cambios en sus tasas de mortalidad por su longevidad y sus bajas tasas de reproducción (Barclay y Harder 2003).

El número registrado de mortalidad de murciélagos es mayor que la que presentan las aves. En el 2013 estimaron 650,1004-1,308,378 muertes de individuos sólo en Canadá y Estados Unidos, y se proyecta que la cantidad de murciélagos aumentarán conforme se la capacidad instalada de energía eólica aumente, por lo tanto, implementar estrategias de mitigación debe ser una de las prioridades de la industria eoloeléctrica (Kunz et al 2007, Moorman et al 2019).

Se han reportado que la mayoría de los murciélagos que han muerto como consecuencia de la energía eólica son aquellos de hábitos arbóreos (Cryan y Barclay

2009) y las especies migratorias de los géneros *Lasiurus* y *Lasionycteris* (Barclay y Harder 2003). En Europa, las especies más afectadas son *Nyctalus noctula* sp. *N. leisleri*, *Pipistrellus nathusii*, *P. pipistrellus*, *P. pygmaeus* y *Vespertilio murinus*. Mientras que en América del Norte se tienen registrado con más de la mitad de las muertes a *Lasiurus cinereus*, seguido por *L. borealis*, *Lasionycteris noctivagans* y *Perimyotis subflavus*. (Barclay y Harder 2003, Arnett et al 2008).

### **3.2.3.1 Impacto Internacional en murciélagos.**

Aunque estos resultados se publicaron años después, en tres áreas donde se encontraban localizados parques eólicos en Minneapolis Minnesota, se encontraron un total de 513 murciélagos entre los años 1998 y 1999. En su mayoría, las muertes relacionadas con colisión eran especies arborícolas, y entre ellas, se reportó mayor incidencia del murciélago canoso (*Lasiurus cinereus*). Durante este estudio, estimaron la eficiencia del buscador resultando en promedio de 38.7% y la duración de los cadáveres antes de ser retirados por carroñeros era de 10,36 días (Johnson et al 2000)

Para el 2001, la mortalidad de murciélagos en parques eólicos ya se consideraba un problema, debido a su alta tasa acumulativa (Kunz et al 2007). De las 47 especies de murciélagos que se pueden encontrar en Estados Unidos de América, se reportó que el 24.4% habían sido impactadas; en su mayoría en parques eólicos que se localizaban por cordones montañosos y agrícolas. El 75% de las especies que se encontraron eran arborícolas y especies migratorias (Kunz et al 2010).

En “The Montaneer Wind Energy Center”, en Virginia USA en el 2004), se observaron que algunos murciélagos podían evitar las palas de los aerogeneradores, sin embargo, aquellos que se acercaban demasiado cuando los aerogeneradores iban a una velocidad baja, quedaban atrapados en el vórtice producido por las aspas de los aerogeneradores. En este parque eólico localizado en un bosque mesófilo de montaña, y compuesto por 42 turbinas, se registraron 466 murciélagos muertos en sólo 42 días con una tasa de búsqueda del 25%, por lo tanto, se estima que la mortalidad de murciélagos es de entre 1398 y 4031 murciélagos solamente en este parque eólico. (Kerns y Kerlinger 2004)

En Alemania en el 2004 solo se habían reportado 207 murciélagos muertos de 10 especies, como resultado de la operación de 19 parques eólicos en 8 estados del país. El 93% de las mortalidades fueron al final de la migración de otoño, el 89 % se encontraron alrededor de los aerogeneradores a menos de 100m del bosque. Las especies con mayor incidencia fueron *Nyctalus lasiaterus* y *Pispistrellus nathusii* (Dürr y Bach 2004). Mientras que Arnett y colaboradores (2008) en USA encontraron que la mortalidad de murciélagos está relacionada con la cobertura de pastizales que los rodean, siendo especies migratorias las más afectadas.

Otro dato interesante respecto a la mortalidad de murciélagos fue el reportado por Baerwald y colaboradores (2008). Ellos realizaron autopsias a 188 murciélagos muertos en una noche por un parque eólico y encontraron que solamente 6 de los murciélagos no presentaba sintomatología de haber sufrido un barotrauma, mientras que los demás presentaban lesiones y hemorragias internas consistentes con dicho trauma.

Canadá reportó alta mortalidad de murciélagos, en Alberta, se reportaron en el 2009 una tasa de mortalidad de 24.1/aerogenerador debido a la colisión con las hélices de 36 aerogeneradores a 65 m de altura en un cultivo agrícola; el 96% eran de la del género *Lasiurus* (Baerwal et al 2009).

En Oklahoma se reportó en el año 2010, once murciélagos de la especie *Tadarida brasiliensis* lactantes muertos debido a colisiones con los aerogeneradores (Kunz et al 2010). Para el 2012 ya se estimaban la muerte de 888,000 murciélagos en Estados Unidos de América (Smallwood 2013).

Más recientemente en Estados Unidos de America se reportó que los murciélagos se sienten atraídos por los aerogeneradores y se proyectó con modelado de la especie *Lasiurus cinereus* que la población podría disminuir 90% en los siguientes cincuenta años suponiendo que el crecimiento en la capacidad instalada de la energía eólica no aumente ni tampoco las medidas de conservación (Moorman 2019).

Por lo tanto, es de vital importancia que los métodos de monitoreo de mortalidad de murciélagos y la metodología para evitar sesgos mejore ya que el desarrollo y expansión de las instalaciones de energía eólica seguirá incrementando y por el momento es una

amenaza clave para las poblaciones de murciélagos, ya que cientos de miles mueren anualmente (Smallwood 2012; Hayes 2013).

### **3.2.3.2 Impacto en murciélagos en México**

Son pocos los estudios publicados sobre el impacto que tienen los parques eólicos en los murciélagos en México, la mayoría de los trabajos son evaluaciones de riesgo, o monitoreos antes de la implementación del proyecto. Sin embargo, se considera que la amenaza para los murciélagos en el país es mayor a la reportada en Estados Unidos y Canadá debido a que México cuenta con una diversidad de 138 especies de murciélagos además de ser sitios de hibernación, migración, reproducción y maternidad (SEGOB 2018 Villegas- Patraca et al 2014).

En la Venta II, Oaxaca donde se encontraron solo 123 murciélagos muertos, sin embargo, durante este trabajo no se tomó en cuenta la tasa de búsqueda ni el tiempo estimado de remoción de las carcasas. Se considera que Oaxaca es uno de los estados más biodiversos, en el que podemos encontrar más de 60 especies de murciélagos que juegan un importante papel en la ecología del Estado, por sus beneficios ambientales como dispersoras de semillas, controladores de plagas, polinizadores, entre otras (SENER 2015).

### **3.3 Sesgos en muestreos**

Durante los estudios de monitoreo de la mortalidad de la avifauna y murciélagos, existen diversos factores por los que la tasa puede resultar baja. La búsqueda de cadáveres es una de ellas, debido a que puede resultar complicado buscar entre vegetación que es muy cerrada, o para aquellas aves que han sido golpeadas y lograron planear lejos del área de búsqueda y han muerto después por los traumas internos o depredadas (Drewitt y Langston 2006). Para evitar este sesgo en los estudios de mortalidad, se han establecido métodos para evaluar la capacidad de los buscadores y el tiempo en que la fauna carroñera y carnívora tarda en llevarse un cadáver (Moorman et al 2019). Tales métodos consisten en esconder un número específico de cadáveres en el lugar de estudio para conocer la capacidad de los buscadores de encontrar las carcasas de los vertebrados voladores. Para los carroñeros y carnívoros, se colocan aves en lugares establecidos para monitorear por medio de cámaras trampa los días u horas en que el cadáver desaparece (Ontario Ministry

of Natura Resources 2011). A pesar de esto, según Langstone y Pullan (2003) no todos los equipos de buscadores utilizan los métodos para el sesgo y muchos cadáveres se pasan por alto.

### **3.4 ¿Cómo afecta la ubicación del Parque Eólico?**

La selección del sitio de instalación de un parque eólico es fundamental, ya que de esto dependerá el impacto que tenga en la fauna; Los factores que elevan la colisión en aves son la topografía (parques localizados en valles, pendientes estrechos, crestas o penínsulas), el tipo de hábitat (agrícolas, bosques y matorrales) y las especies presentes en el sitio (Orloff y Flannery 1992) mientras que para los murciélagos son la época del año, especies de vertebrados voladores en el hábitat, características del paisaje, posición geográfica, altura de las turbinas y la velocidad del viento (Kunz et al 2007, Baerwald et al 2009, Ontario Ministry of Natura Resources 2011).

Es importante mencionar en esta sección que para el establecimiento de un parque eólico se debe realizar estudios de impacto ambiental, pre-construcción, un monitoreo base y post-construcción. Sin embargo, en algunos países, como España según lo reportado por Regueiro (2011) no existe registro de algún parque que haya sido negado por razones ambientales, sosteniendo que el estudio de impacto ambiental solicitada por las autoridades es un trámite burocrático más y no representa obstáculo alguno. En México, según la literatura revisada, históricamente, los parques eólicos denegados han sido por no completar los estudios en el plazo acordado, sin embargo, esto no se puede afirmar con certeza; Tampoco se sabe si las recomendaciones de dichos estudios han sido consideradas por las empresas o el gobierno (SEGOB 2015).

Por último, se debe destacar la importancia de tener en cuenta cada uno de los aspectos negativos en un estudio para determinar el peor escenario posible antes de tomar decisiones, para así lograr minimizar los daños. Moorman y colaboradores (2019) afirman que las investigaciones para poder comprender por completo las consecuencias del desarrollo de la energía eólica en la vida silvestre no han logrado alcanzar el ritmo de crecimiento de la industria. En México la información y conocimiento sobre los pros y contras de la energía eólica también es insuficiente, por lo que se cree que los beneficios

reales y potenciales de los parques eólicos puede ser menor de lo que se estima en nuestro país (SEGOB 2015).

## **JUSTIFICACIÓN**

El potencial eólico en México y sus beneficios para el ambiente son innegables. En los últimos años los proyectos de obtención de energía por medio del viento han aumentado en nuestro país como alternativa para lograr una transición hacia un modelo energético sostenible para el beneficio México y del mundo; Sin embargo, en nuestro país aún no existen estudios suficientes que aporten información y conocimientos para poder determinar con claridad los pros y contras de la energía eólica provocando que se desarrollen medidas de mitigación que podrían ser inadecuadas o insuficientes para la conservación de la fauna impactada. Aunado a esto, el impacto ambiental se ha estudiado individualmente, como algo aislado y propio de cada parque, ignorando las afectaciones en conjunto de las instalaciones a la biodiversidad del país. Es por eso, que este trabajo, como un primer paso para conocer la problemática en conjunto, se estudia los impactos a vertebrados voladores en dos de los parques eólicos ubicados en el noreste de México, y analiza en qué medida contribuyen a mitigar o agravar las problemáticas en torno a la pérdida de biodiversidad de aves y murciélagos prioritarios para nuestro país.

## **HIPÓTESIS**

1. La tasa de mortalidad de aves y murciélagos individual de los parques no es significativa.
2. La tasa de mortalidad del conjunto de parques eólicos del noreste de México es alta.

# OBJETIVOS

## **1.1 Objetivo general:**

Analizar de los impactos ocasionados en vertebrados voladores por los parques eólicos en el noreste de México.

## **1.2 Objetivos específicos:**

- Evaluar la tasa de mortalidad de las especies de manera individual de dos parques eólicos localizados en Coahuila y Tamaulipas.
- Realizar un análisis de la mortalidad acumulativa de los dos parques eólicos en Coahuila y Tamaulipas

# METÓDO

## 1. Área de estudio.

El presente estudio se realizó en el noreste de México en los estados de Coahuila y Tamaulipas (Figura 1).



Figura 1. Área de estudio: Coahuila y Tamaulipas

### 1.1 Parque Eólico en Coahuila (PEC)

El clima predominante es muy seco semicálido (BWh) seguido por el seco semicálido (BSh) y Semiseco semicálido con áreas pequeñas con clima templado en la Sierra de Arteaga al sureste del estado (INEGI 2017).

El PEC abarca 4753.55 hectáreas, donde el valor del viento se considera “alto”, con una velocidad de 80km/hr. Está compuesto por 95 aerogeneradores con una potencia instalada de 199.5 MW y una potencia nominal por aerogenerador de 2.1 MW. Las torres de los aerogeneradores tienen una altura total de 137 m: 80 metros de pedestal, con un diámetro de las aspas ensambladas de 114 metros. Se estima que, al año, se evitarán

381,424 toneladas métricas de dióxido de carbono. La vida útil del proyecto es de 30 años (Eólica de Coahuila 2014).

Dentro del polígono se encuentran cuerpos de agua de importancia para la fauna como (Garza de León et al. 2007; SEMARNAT 2014). Una de ellas es la de mayor extensión de la región y está dentro del área de Importancia para la Conservación de Aves debido a la concentración de aves provenientes de la Sierra La Paila y aves migratorias de invierno y primavera (CONABIO 2006, BirdLife International 2021, SEMARNAT 2014).

La vegetación predominante registrada dentro del PEC es el bosque espinoso de *Prosopis*; Matorral xerófilo, matorral desértico micrófilo al suroeste y matorral desértico rosetófilo (SEMARNAT 2014).

Entre las principales especies vegetales podemos encontrar: *Quercus* spp. *Rhus* sp. *Juniperus monosperma*, *Flourensia cernua*, *Opuntia* spp. *Dasyilirion* sp. *Fouquieria splendens*, *Acacia berlandieri*, *Bouteloua curtipendula*, *Aristida* spp. *Porsopis glandulosa*, *Hilaria mutica*, *Muhlenbergia* sp., *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*, *Triticum vulgare*, *Hordeum sativum*, *Capsicum* spp. Y *Prosopis* spp. (INEGI 2017).

La fauna de vertebrados de Coahuila está compuesta por 398 especies de aves, de las cuales 99 son residentes, 184 migratorias, 102 accidentales y 13 exóticas (Garza et al. 2007). También están registradas 29 especies de quirópteros en el estado (Gómez -Ruíz et al 2015).

## **1.2 Parque Eólico en Tamaulipas (PET)**

El Parque Eólico en Tamaulipas (PET) Abarca una superficie de 3,637, 34 hectáreas. Está compuesto de 15 aerogeneradores con una capacidad instalada de 55 MW con una potencia nominal por aerogenerador de 3.3MW. Los aerogeneradores tienen una altura total de 180m: la torre 120m con aspas de 50m de diámetro y un toro de 136 m. Se estima que, al año, con este proyecto se evitarán 4.109 Kg de dióxido de carbono (SEMARNAT 2016).

El clima corresponde a un cálido (Aw0) con una temperatura media anual mayor a los 22°C (INEGI 2019) con una precipitación media del mes de 40 mm y Cálidos y secos BS1(h´)hw con una temperatura media anual mayor a los 22°C y una precipitación media anual de 670 mm (Según Köppen modificado por García 1964). Se ubica en la región hidrológica San Fernando -Soto la Marina y la subcuenca Alto Gallinas (SEMARNAT 2016).

La vegetación predominante es el matorral Xerófilo, Bosque de Mezquite, Vegetación secundaria arbustiva de Mezquital Xerófilo, Vegetación secundaria herbácea de Mezquital Xerófilo, Pastizal cultivado, Pastizal (SEMRNAT 2016).

Es importante recalcar que La reserva de la Biosfera “El Cielo” se encuentra dentro de los límites de polígono.

## **2.Evaluación de la tasa de mortalidad.**

Para evaluar la tasa de mortalidad de especies en cada uno de los parques del noreste de México, analizamos las bases de datos obtenidas por el laboratorio de Conservación y Desarrollo Sostenible de la facultad de Ciencias Biológicas, UANL durante los programas de “Monitoreo de Fauna Voladora: Aves, Murciélagos y Mariposa Monarca” (MFV) para el PEC durante el 2019-2020. Los datos se complementaron con monitoreos realizados en el período del 2020-2021 en el PET, siguiendo la misma metodología de muestreo detallada en los proyectos de MFV.

Es importante mencionar que se obtuvieron los permisos necesarios de las autoridades de cada parque eólico. Los datos recabados incluyen el monitoreo de aves y murciélagos antes de la construcción del parque, así como la búsqueda intensiva de carcadas durante un año después a la construcción de los parques y/o años posteriores de seguimiento. Estos monitoreos cubren todas las temporadas del año, incluyendo las reproductivas, crianza y migración, lo que permite identificar las especies con una mayor mortalidad y sugerir medidas de mitigación con ajustes de acuerdo con el sitio de muestreos (Ledec et al 2011).

## 2.1 Análisis de Riqueza

Para cada uno de los parques eólicos se describió la comunidad de vertebrados voladores presentes en las áreas de estudio previo su construcción e instalación.

Cada uno de los análisis se construyó a partir de monitoreos utilizando puntos de conteos fijos, visitados durante un año, una vez por mes con una duración de 15 minutos para aves.

Para los quirópteros se utilizaron redes de niebla en sitios de muestreos fijos que se eligieron por ser sitios de alimentación, corredores, caminos o cuerpos de agua (Bracamonte, 2018). Las redes se colocaron 30 minutos antes del anochecer y fueron retiradas 30 minutos después del amanecer. Las redes fueron revisadas en intervalos de 15-20 minutos. Cada ejemplar fue identificado con la ayuda de las claves de identificación de Medellín y colaboradores (2008) y liberados en el sitio de captura. También se utilizaron grabadoras ultrasónicas en cada punto de conteo por 15 minutos. Las grabaciones fueron identificadas e interpretadas con ayuda del software Batsound Pro. El número de puntos de conteo, redes de niebla y la detección acústica variaron en cantidad de acuerdo con los aerogeneradores dentro del parque y área total (Tabla 2).

Tabla 2. Cantidad de aerogeneradores en el muestreo.

<b>Parque Eólico</b>	<b>Puntos en aerogeneradores</b>	<b>Control</b>	<b>Puntos en total</b>
<b>Parque Eólico 1</b>	60	35	95
<b>Parque Eólico 2</b>	15	8	23

Con los datos de los monitoreos se crearon listados sistemáticos, donde se indica el Orden, familia, género especie, nombre común de acuerdo con el Criterio American Ornithologist Union (2019) y el estatus de acuerdo con la NOM-050-SEMARNAT-2010 y la Lista Roja de Especies Amenazadas (IUCN 2019).

Para posibilitar la comparación de los datos obtenidos y estimar el total de especies presentes en el área de estudio se generó una curva de acumulación de especies para el período anual con intervalos de confianza del 95% (Gotelli y Colwell 2001) Así mismo se estimó la riqueza basada en la abundancia (Chao1) (Chao 1984) y basado en la incidencia (Chao 2) (Chazdon *et. al.*1998) con el programa EstimateS 9.1 de uso libre (<http://viceroy.eeb.ucon.edu/EstimateS>) (Escalante 2003).

## **2.2 Método de muestreo de mortalidad de aves y murciélagos.**

### **2.2.1 Búsqueda de carcasas.**

La búsqueda de carcasas se realizó una vez a la semana durante un año. Los puntos de muestreo se establecieron en un radio de 50 mts alrededor de los aerogeneradores seleccionados al azar. Cada transecto estaba separados 10 metros de distancia con un rango de búsqueda de 5 metros. Las áreas de búsqueda se delimitaron con estacas en un radio de 50 metros. Con la finalidad de homogenizar los datos se dedicó 20 minutos para cada punto de muestreo, caminando a una velocidad baja y constante (Atienza et al.2011).

Todas las carcasas fueron georreferenciadas y fotografiadas para su identificación. Aquellos ejemplares que se encontraran en estado avanzado de putrefacción o incompletos por carroñeros y se impidiera su identificación, se registró como “desconocido”. Para cada carcasa se registró la fecha y hora, numero del aerogenerador, condición de la carcasa y cuando fue posible también la edad y sexo.

Las carcasas encontradas fueron recolectadas etiquetadas y almacenadas para la corrección de sesgo (Moorman et al 2019; Ontario Ministry of Natura Resources 2011).

### **2.2.2 Corrección de Sesgos**

Según Smallwood (2007) existen diferentes factores que pueden causar sesgo durante la búsqueda de carcasas: 1) Cobertura vegetal, 2) Un radio de búsqueda poco adecuado, 3) El tamaño de la especie colisionada, 4) Eficacia del buscador y 5) Carroñeros.

Durante los análisis para minimizar el sesgo, se realizaron mediante la remoción y colocación de carcasas: pruebas de eficiencia de búsqueda y Pruebas de remoción de carcasas por carroñeros.

#### 2.2.2.1 Prueba de eficiencia de búsqueda

Para determinar la capacidad de detección de carcasas en un tiempo establecido por los buscadores, se llevaron a cabo pruebas durante cada estación del año, utilizando las carcasas encontradas y almacenadas anteriormente (Atienza et al. 2011).

Siguiendo la metodología propuesta por Morrison (2002) se utilizaron carcasas frescas y dañadas de aves de distintos tamaños, murciélagos o ratones de coloración oscura. Se dejaron caer de forma aleatoria un máximo de tres carcasas por turbina para evitar atraer a los carroñeros; cada carcasa fue georreferenciada. Después se los buscadores sin previo aviso de la prueba salieron a buscar carcasas como de costumbre y se anotó cuantas de las carcasas georreferenciadas encontraron.

Una vez que terminada la prueba el esfuerzo de búsqueda, se regresó al lugar donde fueron colocadas las carcasas que no fueron encontradas para corroborar que se encuentren en el lugar o fueron removidas y se indicó en los datos de la prueba si estaba “disponible” o “removida”.

El análisis de los datos en laboratorio se explicará más adelante.

#### 2.2.2.2 Prueba de remoción de carcasas por carroñeros

Para estimar la tasa de desaparición de las carcasas a través del tiempo como producto de la actividad de los carroñeros, cada temporada: primavera, verano, otoño e invierno; se colocaron al azar aves grandes, aves pequeñas y murciélagos o ratones café oscuro en diferentes cantidades de acuerdo con los puntos de conteo de los parques. A diferencia de la prueba anterior se recomienda que estos señuelos deben de estar en buenas condiciones y “frescos” (Korner-Nievergelt et al. 2013

Se creó un cronograma para revisar el avance de la prueba donde el Día 0 es el día de colocación, seguido por el día 1, día2, día 3, día 4, día 10, día 14, y 20.

Cada uno de los señuelos se georreferenciaron y fotografiaron de acuerdo con cronograma, el ID del señuelo y el número de parcela, como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Ejemplo de fotografía para el avance de la prueba de remoción de carcasas.

Se registró si la carcasa había sido removida o si había indicios de carroñeros cerca de la carcasa. Si la carcasa solamente había sido movida alrededor de 5 metros se registraba y se georreferenciada para continuar con la prueba.

### 2.2.3 Estimación de la mortalidad

Se estimaron las tasas de mortalidad anual y estacional dividiendo a los ejemplares por tamaños: 1) aves grandes, 2) aves pequeñas, 3) todas las aves y 4) murciélagos.

Se utilizó el paquete carcass en R siguiendo para las estimaciones siguiendo lo establecido por Korner-Nievergelt et al (2015):

- 1) Estimación de la proporción de animales muertos o heridos en la zona de búsqueda ( $a$ ): está determinada por el tamaño del área revisada, y es establecida con la relación de densidad de la vegetación y visibilidad. Para estimar  $a$  Se tomo la suma del producto de las proporciones de área revisada en siete anillos de distancia alrededor del aerogenerador, por la proporción de cadáveres encontrados en los anillos. Con ayuda de Qgis 3.14 se crearon archivos vectoriales que corresponden al área total de búsqueda. Después se estimó el

área de intersección entre siete anillos de radios de 10m desde la base de aerogenerador y se dividió el área de interacción en cada anillo por el área total del anillo correspondiente por medio de las paqueterías *rdal* y *raster* en el software R4.0. Para este análisis se consideraron los cadáveres encontrados durante las búsquedas incidentales y estándares.

- 2) Probabilidad de persistencia del cadáver ( $s$ ): Fue estimada mediante la función *persistence.prob* del paquete *carcass* el cual usa un modelo exponencial de supervivencia diaria y obtiene los valores de probabilidad y sus intervalos de confianza al 95%
- 3) Eficiencia del buscador ( $f$ ): Se estimó para cada categoría por medio de la función *search.eficiency* el cual estima la eficiencia para el observador para cada tipo de visibilidad y clases de visibilidad de acuerdo a las estaciones (invierno, primavera, verano y otoño).
- 4) Días de búsqueda ( $d$ )
- 5) Probabilidad de detección ( $p=f(a,s,f,d)$ ): Se estimó por medio de la función *pkorner* del paquete *carcass*, el cual también calcula los intervalos de confianza 95% mediante simulaciones Monte Carlo.
- 6) Estimación del número de animales que han muerto  $N$  a partir del número de cadáveres encontrados ( $c$ ) y la estimación de la probabilidad de detección ( $p$ ).

#### **2.2.4 Tasa de mortalidad**

Las tasas de colisiones anual y estacionales se calcularon mediante la función *estimateN* el cual considera la probabilidad de detección ( $p$ ) la proporción de animales muertos que caen dentro del área de búsqueda, el intervalo de días entre búsquedas y el número total de búsquedas. La tasa anual se obtuvo sumando las tasas de cada estación debido a la variación de la probabilidad de detección por estación y la persistencia del cadáver (Korner-Nievergelt et al. 2015)

Para la estimación de la distribución posterior del número de muertes se utilizó una aproximación bayesiana implementando el teorema de Bayes incluido en la función *estimateN* para obtener los valores de la mediana de la distribución posterior y sus intervalos de confianza inferior y superior al 95%. Este análisis consideró que la llegar y remoción de cadáveres es constante (Korner-Nievergelt et al. 2015).

# RESULTADOS

## 1. Parque Eólico Coahuila (PEC)

### 1.1 Riqueza de aves

Se registraron 110 especies de aves, de 15 ordenes 38 familias y 83 géneros diferentes y un total de 21,292 aves durante el periodo del 2017-2018 (Tabla 3). Dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 podemos encontrar 10 aves: *Accipiter striatus*, *Accipiter cooperi*, *Parabuteo unicinctus*, *Buteo lineatus*, *Buteo platypterus*, *Buteo albonotatus*, *Buteo swainsoni*, *Buteo regalis* y *Passerina ciris*, en categoría de protección especial (Pr), y *Falco mexicanus* en la categoría de amenazada. En la lista roja de especies amenazada (IUCN) Se encuentran en la categoría casi amenazadas (NT): *Contopus cooperi*, *Vireo belli* y *Passerina ciris*. En la categoría vulnerable (VU) *Anthus spragueii* (Tabla 4).

Tabla 3. Listado de aves registradas en el PEC

Familia	Especie	Nombre común	N-059	IUCN
<b>Anseriformes</b>				
<b>Anatidae</b>	<i>Anser albifrons</i>	Ganso careto mayor		LC
	<i>Anas platyrhynchos</i>	Pato de collar		LC
	<i>Spatula discors</i>	Cerceta alas azules		LC
<b>Galliformes</b>				
<b>Odontophoridae</b>	<i>Callipepla squamata</i>	Codorniz escamosa		LC
<b>Pelecaniformes</b>				
<b>Ardeidae</b>	<i>Ardea herodias</i>	Garza morena		LC
	<i>Ardea alba</i>	Garza blanca		LC
	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Garza Nocturna		LC
<b>Threskiornithidae</b>	<i>Plegadis chihi</i>	Ibis Ojos Rojos		LC
<b>Cathartiformes</b>				
<b>Cathartidae</b>	<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote común		LC
	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote aura		LC
<b>Accipitriformes</b>				
<b>Pandionidae</b>	<i>Pandion haliaetus</i>	Águila pescadora		LC
<b>Accipitridae</b>	<i>Circus hudsonius</i>	Gavilán rastrero		LC
	<i>Accipiter striatus</i>	Gavilán pecho canela	Pr	LC
	<i>Accipiter cooperi</i>	Gavilán bicolor	Pr	LC
	<i>Parabuteo unicinctus</i>	Aguililla rojinegra	Pr	LC
	<i>Buteo lineatus</i>	Aguililla pecho rojo	Pr	LC
	<i>Buteo platypterus</i>	Aguililla alas anchas	Pr	LC
	<i>Buteo swainsonii</i>	Aguililla de Swainson	Pr	LC
	<i>Buteo albonotatus</i>	Aguililla aura	Pr	LC

<b>Familia</b>	<i>Especie</i>	<b>Nombre común</b>	<b>N-059</b>	<b>IUCN</b>
<b>Accipitridae</b>	<i>Buteo jamaicensis</i>	Aguililla cola roja		LC
	<i>Buteo regalis</i>	Aguililla real	Pr	LC
<b>Falconiformes</b>				
<b>Falconidae</b>	<i>Caracara cheriway</i>	Caracara		LC
		quebrantahuesos		LC
	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo americano		LC
	<i>Falco columbarius</i>	Halcón esmerejón		LC
	<i>Falco mexicanus</i>	Halcón mexicano	A	LC
<b>Gruiformes</b>				
<b>Rallidae</b>	<i>Porzana carolina</i>	Polluela Sora		LC
<b>Charadriiformes</b>				
<b>Charadriidae</b>	<i>Charadrius vociferus</i>	Chorlo Tildío		LC
<b>Recurvirostridae</b>	<i>Recurvirostra americana</i>	Avoceta americana		LC
<b>Scolopacidae</b>	<i>Tringa solitaria</i>	Playero solitario		LC
	<i>Bartramia longicauda</i>	Zarapito ganga		LC
	<i>Numenius americanus</i>	Zarapito pico largo		LC
	<i>Gallinago delicata</i>	Agachona		LC
		norteamericana		LC
<b>Columbiformes</b>				
<b>Columbidae</b>	<i>Patagioenas fasciata</i>	Paloma encinera		LC
	<i>Streptopelia decaocto</i>	Paloma de collar Turca		LC
	<i>Zenaida asiatica</i>	Paloma alas blancas		LC
	<i>Zenaida macroura</i>	Huilota común		LC
<b>Cuculiformes</b>				
<b>Cuculidae</b>	<i>Geococcyx californianus</i>	Correcaminos norteño		LC
<b>Strigiformes</b>				
<b>Strigidae</b>	<i>Bubo virginianus</i>	Búho Cornudo		LC
	<i>Athene cunicularia</i>	Tecolote Llanero		LC
<b>Caprimulgiformes</b>				
<b>Caprimulgidae</b>	<i>Chordeiles acutipennis</i>	Chotacabras Menor		LC
<b>Apodiformes</b>				
<b>Apodidae</b>	<i>Aeronautes saxatilis</i>	Vencejo Pecho Blanco		LC
<b>Trochilidae</b>	<i>Calothorax lucifer</i>	Colibrí Lucifer		LC
	<i>Archilochus alexandri</i>	Colibrí Barba Negra		LC
	<i>Selasphorus rufus</i>	Zumbador Canelo		LC
<b>Piciformes</b>				
<b>Picidae</b>	<i>Melanerpes aurifrons</i>	Carpintero Cheje		LC
	<i>Picoides scalaris</i>	Carpintero Mexicano		LC
	<i>Colaptes auratus</i>	Carpintero de Pechera		LC
<b>Passeriformes</b>				
<b>Tyrannidae</b>	<i>Contopus cooperi</i>	Papamoscas Boreal		NT
	<i>Sayornis saya</i>	Papamoscas Llanero		LC
	<i>Pyrocephalus rubinus</i>	Papamoscas Cardenalito		LC
	<i>Myiarchus cinerascens</i>	Papamoscas Cenizo		LC
	<i>Tyrannus vociferans</i>	Tirano Chibiú		LC
	<i>Tyrannus verticalis</i>	Tirano Pálido		LC

Familia	Especie	Nombre común	N-059	IUCN
	<i>Tyrannus forficatus</i>	Tirano Tijereta Rosado		LC
<b>Laniidae</b>	<i>Lanius ludovicianus</i>	Verdugo Americano		LC
<b>Vireonidae</b>	<i>Vireo belli</i>	Vireo de Bell		LC
	<i>Vireo vicinior</i>	Vireo Gris		LC
<b>Corvidae</b>	<i>Corvus cryptoleucus</i>	Cuervo Llanero		LC
	<i>Corvus corax</i>	Cuervo Común		LC
<b>Alaudidae</b>	<i>Eremophila alpestris</i>	Alondra Cornuda		LC
	<i>Petrochelidon fulva</i>	Golondrina Pueblera		LC
	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina Tijereta		LC
<b>Remizidae</b>	<i>Auriparus flaviceps</i>	Baloncillo		LC
<b>Troglodytidae</b>	<i>Campylorhynchus</i>	Matraca del Desierto		LC
	<i>brunneicapillus</i>			LC
	<i>Salpinctes obsoletus</i>	Saltapared de Rocas		LC
	<i>Catherpes mexicanus</i>	Saltapared Barranqueño		LC
<b>Poliopitilidae</b>	<i>Thryomanes bewickii</i>	Saltapared Cola Larga		LC
	<i>Poliopitila caerulea</i>	Perlita Azulgris		LC
	<i>Poliopitila melanura</i>	Perlita del Desierto		LC
<b>Regulidae</b>	<i>Regulus calendula</i>	Reyezuelo Matraquita		LC
<b>Mimidae</b>	<i>Mimus polyglottos</i>	Centzontle Norteño		LC
	<i>Oreoscoptes montanus</i>	Cuicacoche Chato		LC
	<i>Toxostoma curvirostre</i>	Cuicacoche Pico Curvo		LC
	<i>Toxostoma crissale</i>	Cuicacoche Crisal		LC
<b>Motacillidae</b>	<i>Anthus rubescens</i>	Bisbita Norteamericana		LC
	<i>Anthus spragueii</i>	Bisbita Llanera		VU
<b>Ptiliognatidae</b>	<i>Phainopepla nitens</i>	Zacatonero de Cassin		LC
<b>Parulidae</b>	<i>Mniotilta varia</i>	Chipe Trepador		LC
	<i>Oreothlypis celata</i>	Chipe Oliváceo		LC
	<i>Setophaga petechia</i>	Chipe Amarillo		LC
	<i>Setophaga coronata</i>	Chipe Rabadilla Amarilla		LC
	<i>Setophaga townsendi</i>	Chipe de Townsend		LC
	<i>Setophaga ruticilla</i>	Pavito Migratorio		LC
<b>Passerellidae</b>	<i>Melospiza fusca</i>	Rascador Viejita		LC
	<i>Aimophila ruficeps</i>	Zacatonero Corona Canela		LC
	<i>Peucaea cassinii</i>	Zacatonero de Cassin		LC
	<i>Spizella passerina</i>	Gorrión Cejas Blancas		LC
	<i>Spizella pallida</i>	Gorrión Pálido		LC
	<i>Poocetes gramineus</i>	Gorrión Cola Blanca		LC
	<i>Chondestes grammacus</i>	Gorrión Arlequín		LC
	<i>Amphispiza bilineata</i>	Zacatonero Garganta		LC
	<i>Calamospiza</i>	Negra		LC
	<i>melanocorys</i>	Gorrión Alas Blancas		LC
	<i>Passerculus</i>			LC
	<i>sandwichensis</i>	Gorrión Sabanero		LC
<b>Cardinalidae</b>	<i>Cardinalis sinuatus</i>	Cardenal Desértico		LC
	<i>Passerina caerulea</i>	Picogordo Azul		LC
	<i>Passerina ciris</i>	Colorín Sietecolores	Pr	NT
	<i>Sturnella magna</i>	Pradero Tortillaconchile		LC

Familia	Especies	Nombre común	N-059	IUCN
<b>Icteridae</b>	<i>Sturnella neglecta</i>	Pradero del Oeste		LC
	<i>Euphagus cyanocephalus</i>	Tordo Ojos Amarillos		LC
	<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate Mayor		LC
	<i>Molothrus aeneus</i>	Tordo Ojos Rojos		LC
	<i>Molothrus ater</i>	Tordo Cabeza Café		LC
	<i>Icterus graduacauda</i>	Calandria Capucha Negra		LC
<b>Fringillidae</b>	<i>Icterus parisorum</i>	Calandria tunera		LC
	<i>Haemorhous mexicanus</i>	Pinzón Mexicano		LC
	<i>Spinus pinus</i>	Jilguerito Pinero		LC
	<i>Spinus psaltria</i>	Jilguerito Pinero		LC
	<i>Spinus tristis</i>	Jilguerito Canario		LC
	<i>Passer domesticus</i>	Gorrión Doméstico		LC

NOM-059-SEMANAT-2010: P (En peligro de extinción), A(Amenazada); Pr (sujeta a protección especial). IUCN: VU (vulnerable), LC (preocupación menor), NT (amenazada), EN (en peligro) \*(Su población está disminuyendo)

Tabla 4. Especies listadas en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-2010 o la lista roja (IUCN) en el Parque Eólico en Coahuila 1

Especie	Nombre común	N-059	IUCN
<i>Accipiter striatus</i>	Gavilán pecho canela	Pr	LC
<i>Accipiter cooperi</i>	Gavilán bicolor	Pr	LC
<i>Parabuteo unicinctus</i>	Aguililla rojinegra	Pr	LC
<i>Buteo lineatus</i>	Aguililla pecho rojo	Pr	LC
<i>Buteo platypterus</i>	Aguililla alas anchas	Pr	LC
<i>Buteo swainsonii</i>	Aguililla de Swainson	Pr	LC
<i>Buteo albonotatus</i>	Aguililla aura	Pr	LC
<i>Buteo regalis</i>	Aguililla real	Pr	LC
<i>Falco mexicanus</i>	Halcón real	A	LC
<i>Chordeiles acutipennis</i>	Chotacabras menor	V	LC
<i>Contopus cooperi</i>	Papamoscas boreal	-	NT
<i>Vireo belli</i>	Vireo de Bell	-	NT
<i>Anthus spragueii</i>	Bisbita llanera	-	VU
<i>Passerina ciris</i>	Colorín sietecolores	Pr	NT

El muestreo realizado es representativo de la comunidad (Figura 3); Según los estimadores de riqueza Chao 1 y Chao 2 las especies que puede presentar el PEC están en el rango de 232 y 181 especies (Figura 4).

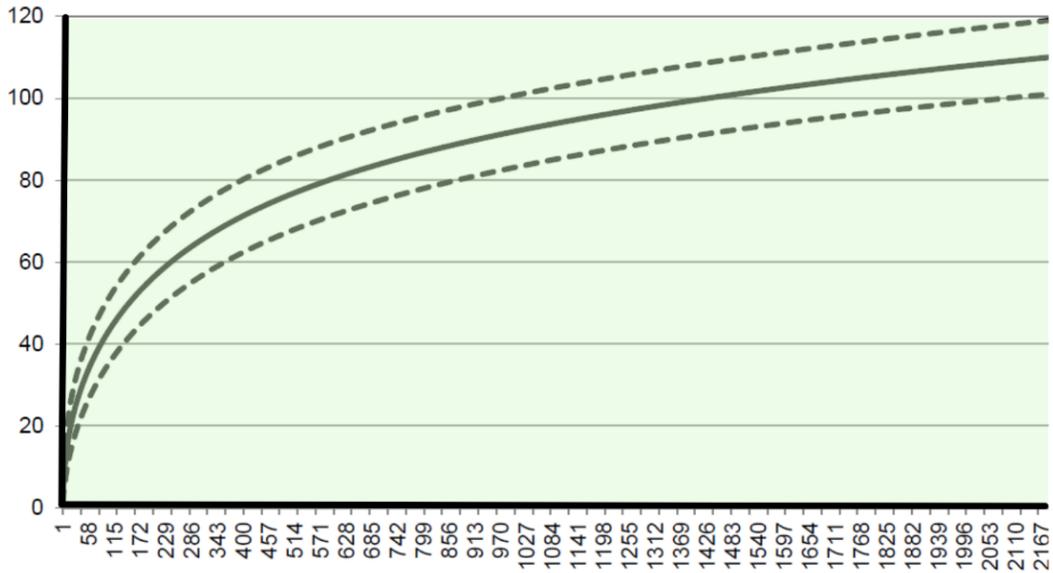


Figura 3. Curva de acumulación de especies de aves por esfuerzo de muestreo, con IC95%, para los muestreos realizados (rarefacción basada en muestras, Colwell et al 2004). 2017-2018 en el PEC.

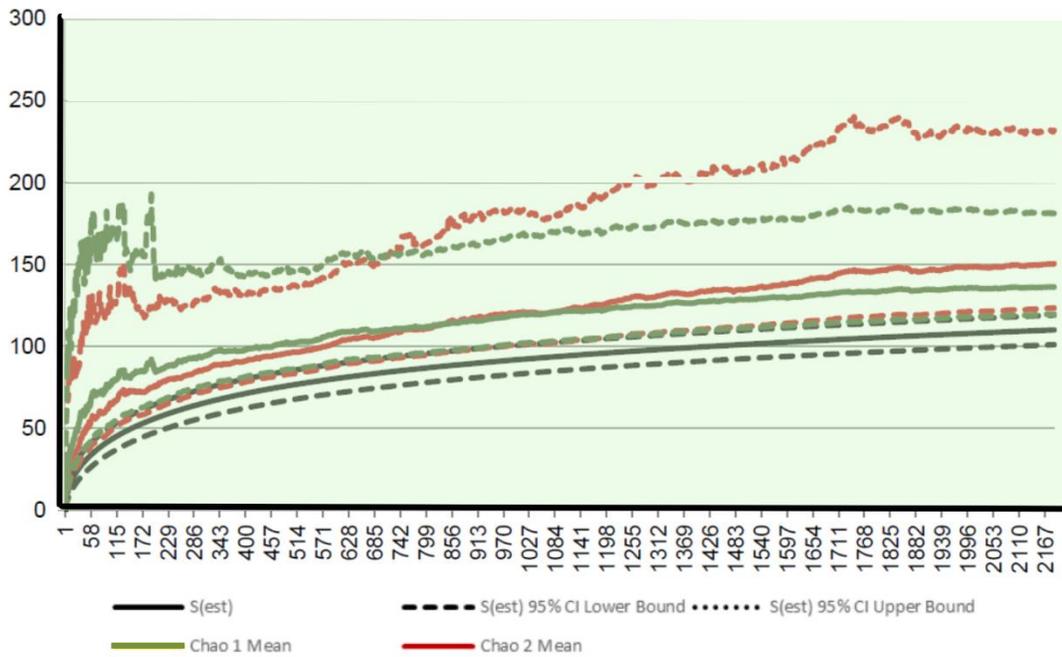


Figura 3. Comparativa de la riqueza registrada para aves en campo con los estimadores de riqueza Chao1 (verde; Chao 1984; Chazdon *et al.*, 1998), Chao 2 (rojo; Chazdon *et al.* 1998) en el PEC.

## 1.2 Búsqueda de carcasas

### 1.2.1 Aves

Durante el 2018 en el PEC; un total de 25 carcasas fueron encontradas: 14 durante la búsqueda estandarizada y 11 de manera incidental. En total 13 especies fueron identificadas y un ejemplar de no se pudo identificar debido a su grado de descomposición (Tabla 7).

El 44% de las carcasas fueron encontradas de forma incidental fuera de las áreas de búsqueda siendo la de mayor porcentaje *Buteo jamaicensis*; Mientras que en las búsquedas estandarizadas fue *Falco sparverius*. De las aves encontradas, *Setophaga virens* es migratoria de invierno, *Buteo jamaicensis*, *Petrochelidon fluva*, *Falvo sparverius*, *Cathartes aura*, *Icterus parisorum*, *Peucaea cassinii*, *Campylorhynchus brunneicapillus*, *Molothrus ater* y *Charadrius vociferus* son residentes, *Buteo swainsonii* transitoria y *Setophaga virens* migratoria de invierno. La única especie encontrada citada en la lista roja de especies amenazadas como especie bajo protección especial (Pr) fue *Buteo swainsonii*.

Tabla 7. Carcasas de aves encontradas en el PEC en el 2018

Especie	Búsqueda		Total
	Estandarizada	Incidental	
<i>Buteo jamaicensis</i>	-	5	5
<i>Petrochelidon fulva</i>	2	-	2
<i>Falco sparverius</i>	4	-	4
<i>Cathartes aura</i>	2	2	4
<i>Anas cyanoptera</i>	1	-	1
<i>Setophaga virens</i>	1	-	1
<i>Charadrius vociferus</i>	1	-	1
<i>Icterus parisorum</i>	-	1	1
<i>Peucaea cassinii</i>	1	-	1
<i>Molothrus ater</i>	1	-	1
<i>Campylorhynchus brunneicapillus</i>	-	1	1
<i>Setophaga chrysoparia</i>	0	1	1
<i>Buteo swainsoni</i>	0	1	1
Gorrión sin identificar	1	-	1
<b>Subtotal</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>25</b>

## 1.2.2 Murciélagos

Un total de 65 carcasas fueron encontradas: 61 durante la búsqueda estandarizada y 4 de manera incidental en el 2018. En total 8 especies fueron identificadas (Tabla 8).

El 95% de las carcasas fueron encontradas de forma no estandarizada fuera de las áreas de búsqueda. Las especies con mayor incidencia dentro de las búsquedas estandarizadas fueron *Tadarida brasiliensis* con 15 especies, seguido por *Lasiurus cinereus*, y *Lasiurus xanthinus* con 12 y 11 ejemplares respectivamente.

Ninguna de las especies registradas se encuentra reportada en la NOM-059-SEMARNAT 2010 ni en la lista roja.

Tabla 8. Carcasas de murciélagos encontradas en el Parque Eólico 1 en el 2018

Especie	Búsqueda		Total
	Estandarizada	Incidental	
<i>Tadarida brasiliensis</i>	18	1	15
<i>Lasiurus xanthinus</i>	11	1	12
<i>Lasiurus cinereus</i>	15	1	13
<i>Lasiurus borealis</i>	1	-	1
<i>Eumops perotis</i>	3	1	4
<i>Nyctinomops femorosaccus</i>	4	-	4
<i>Antrozous pallidus</i>	1	-	1
<i>Nyctinomops macrotis</i>	8	-	8
<b>Subtotal</b>	<b>61</b>	<b>4</b>	<b>65</b>

## 1.3 Tasa de mortalidad

### 1.3.1 Tasa de eficiencia del buscador

La tasa media de eficiencia (f) de los buscadores (IC: 90%) para cada una de las clases de tamaño en el PEC fueron (Tabla 9):

Tabla 9. Tasa media de eficiencia

Categoría	F	IC 90%
Todas las aves	0.957	(0.920-0.980)
Aves grandes	1.000	(1.00-1.00)
Aves pequeñas	0.951	(0.285-0.976)
Murciélagos	0.758	(0.69-0.83)

### 1.3.2 Tasa de persistencia del cadáver

Se colocaron 124 aves pequeñas, 100 grandes y 102 murciélagos para estimar la persistencia de los cadáveres. Para las aves el invierno presentó el valor más bajo de persistencia media (1.07días) y el otoño el valor más alto (5.33días). En los murciélagos el otoño presento el valor más bajo (0.05 días) mientras que el invierno el más alto (1.90 días) (Tabla 10).

Tabla 10. Tiempo de persistencia en cada estación de los cadáveres por categoría de tamaño con sus intervalos de confianza al 95% en el Parque Eólico 2

Tamaño	Probabilidad de persistencia	IC 95%		Tiempo de persistencia media (Días)
		Inferior	Superior	
Verano				
<b>Todas las aves</b>	0.65	0.25	0.86	<b>3.15</b>
<b>Aves grandes</b>	0.05	0.04	0.06	<b>0.89</b>
<b>Aves pequeñas</b>	0.06	0.40	0.07	<b>0.90</b>
<b>Murciélagos</b>	0.05	0.03	0.07	<b>0.50</b>
Otoño				
<b>Todas las aves</b>	0.81	0.56	0.93	<b>5.33</b>
<b>Aves grandes</b>	0.06	0.04	0.09	<b>1.13</b>
<b>Aves pequeñas</b>	0.04	0.02	0.05	<b>0.90</b>
<b>Murciélagos</b>	0.04	0.02	0.07	<b>0.05</b>
Invierno				
<b>Todas las aves</b>	0.39	0.03	0.78	<b>1.07</b>
<b>Aves grandes</b>	0.21	0.13	0.31	<b>3.50</b>
<b>Aves pequeñas</b>	0.13	0.09	0.17	<b>1.5</b>
<b>Murciélagos</b>	0.11	0.09	0.14	<b>1.90</b>
Primavera				
<b>Todas las aves</b>	0.74	0.55	0.85	<b>4.03</b>
<b>Aves grandes</b>	0.12	0.09	0.14	<b>2.10</b>
<b>Aves pequeñas</b>	0.06	0.04	0.08	<b>0.90</b>
<b>Murciélagos</b>	0.05	0.04	0.06	<b>0.50</b>

La tasa de mortalidad estimada para todas las aves fue de 2.63 aves/MW/año (5.53 aves/aerogenerador/año). Para las aves pequeñas fue de 1.38 aves/MW/año (2.91 aves pequeñas /aerogenerador/año). Para aves grandes fue 1.25 aves grandes /MW/año (2.62 aves grandes /aerogenerador/año). La tasa de mortalidad de murciélagos fue de 29.40 Murciélagos/MW/año (61.73murciélagos/aerogenerador/año) (Tabla 11).

Tabla 11. Tasas de mortalidad estimadas para aves y murciélagos con sus intervalos de confianza al 90% durante el período anual 2020 -2021 en el PEC

Fatalidades/aerogenerador/año	Valor estimado	IC 90%	
		Inferior	Superior
<b>Aves</b>	5.53	1.60	13.0
<b>Aves grandes</b>	2.62	1.60	13.0
<b>Aves pequeñas</b>	2.91	1.60	13.0
<b>Murciélagos</b>	61.73	46.64	98.03
Fatalidades/megavatio/año	Valor estimado	IC 90%	
		Inferior	Superior
<b>Aves</b>	2.63	0.76	6.19
<b>Aves grandes</b>	1.25	0.76	6.19
<b>Aves pequeñas</b>	1.38	0.76	6.19
<b>Murciélagos</b>	29.40	22.21	46.68

## 2. Parque Eólico Tamaulipas (PET)

### 2.1 Riqueza de aves.

Se registraron 113 especies de aves, de 16 ordenes 36 familias y 85 géneros diferentes y un total de 63,091 aves durante el periodo del 2020-2021, de las cuales 49,722 se registraron por observación directa y 13,369 por detección auditivas (Tabla 10).. Dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 podemos encontrar 10 aves: *Accipiter cooperii*, *Buteo albonotatus*, *Buteo swainsoni*, *Elanoides forficatus*, *Geranoaetus albicaudatus*, *Ictinia mississippiensis*, *Parabuteo unicinctus*, *Mycteria americana*, *Falco peregrinus*, y *Passerina cirirs*, en categoría de protección especial, *Geothlypis tolmiei* como amenazada y *Amazona oratrix* como especies en peligro de extinción. En la lista roja (IUCN): (Tabla 11)

Tabla 10. Listado de aves registradas en el PET

Familia	Especie	Nombre común	N-059	UICN	
<b>Accipitriformes</b>					
<b>Accipitridae</b>	<i>Accipiter cooperii</i>	Gavilán de cooper	Pr		
	<i>Buteo albonotatus</i>	Aguililla aura	Pr		
	<i>Buteo brachyurus</i>	Aguililla cola corta			
	<i>Buteo jamaicensis</i>	Aguililla cola roja			
	<i>Buteo plagiatus</i>	Aguililla gris			
	<i>Buteo swainsoni</i>	Aguililla de swainson	Pr		
	<i>Circus hudsonius</i>	Gavilán rastrero			
	<i>Elanoides forficatus</i>	Milano tijereta	Pr		
	<i>Elanus leucurus</i>	Milano cola blanca			
	<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	Aguililla cola blanca	Pr		
	<i>Ictinia mississippiensis</i>	Aguililla rojinegra	Pr		
	<i>Parabuteo unicinctus</i>	Aguililla caminera			
	<b>Pandionidae</b>	<i>Rupornis magnirostris</i>	Águila pescadora		
		<i>Pandion haliaetus</i>			
<b>Anseriformes</b>					
<b>Anatidae</b>	<i>Dendrocygna autumnalis</i>	Pijije Alas Blancas			
<b>Apodiformes</b>					
<b>Trochilidae</b>	<i>Amazilia yucatanensis</i>	Colibrí vientre canelo			
	<i>Archilochus colubris</i>	Colibrí garganta rubí			
<b>Caprimulgiformes</b>					
<b>Caprimulgidae</b>	<i>Antrostomus salvini</i>	Tapacaminos ticurú		LC	

Familia	Especie	Nombre común	N-059	IUCN
<b>Cathartiformes</b>				
<b>Cathartidae</b>	<i>Cathartes aura</i>	Zopilote aura		LC
	<i>Coragyps atratus</i>	Zopilote negro		LC
<b>Ciconiiformes</b>				
<b>Ciconiidae</b>	<i>Mycteria americana</i>	Cigüeña americana	Pr	LC
<b>Columbiformes</b>				
<b>Columbidae</b>	<i>Columbina passerina</i>	Tortolita azul		LC
	<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma arroyera		LC
	<i>Streptopelia decaocto</i>	Paloma de collar		LC
	<i>Zenaida asiatica</i>	Paloma ala blanca		LC
	<i>Zenaida macroura</i>	Paloma huilota		LC
<b>Cuculiformes</b>				
<b>Cuculidae</b>	<i>Coccyzus americanus</i>	Cuclillo pico amarillo		LC
	<i>Coccyzus minor</i>	Cuclillo manglero		LC
	<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero pijuy		LC
	<i>Geococcyx californianus</i>	Correcaminos norteño		LC
<b>Falconiformes</b>				
<b>Falconidae</b>	<i>Caracara cheriway</i>	Caracara quebrantahuesos		LC
	<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino		LC
	<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo americano		LC
<b>Galliformes</b>				
<b>Cracidae</b>	<i>Ortalis vetula</i>	Chachalaca oriental		LC
<b>Odontophoridae</b>	<i>Colinus virginianus</i>	Codorniz cotui		NT
<b>Passeriformes</b>				
<b>Bombycillidae</b>	<i>Bombycilla cedrorum</i>	Chinito		LC
<b>Cardinalidae</b>	<i>Cardinalis cardinalis</i>	Cardenal norteño		LC
	<i>Cardinalis sinuatus</i>	Cardenal desértico		LC
	<i>Cyanocompsa parellina</i>	Colorín azul negro		LC
	<i>Passerina amoena</i>	Colorín pecho canela		LC
	<i>Passerina caerulea</i>	Picogordo azul		LC
	<i>Passerina ciris</i>	Colorín sietecolores	Pr	LC
	<i>Passerina cyanea</i>	Colorín azul		LC
	<i>Passerina versicolor</i>	Colorín morado		LC
	<i>Piranga bidentata</i>	Piranga dorso rayado		LC
	<i>Piranga ludoviciana</i>	Piranga capucha roja		LC
	<i>Spiza americana</i>	Arrocero americano		LC
	<b>Corvidae</b>	<i>Corvus cryptoleucus</i>	Cuervo llanero	
<i>Cyanocorax yncas</i>		Chara verde		LC
<i>Psilorhinus morio</i>		Chara pea		LC
<b>Fringillidae</b>	<i>Euphonia affinis</i>	Eufonia garganta negra		LC
<b>Hirundinidae</b>	<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina tijereta		LC
	<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	Golondrina risquera		LC

Familia	Especie	Nombre común	N-059	IUCN	
<b>Icteridae</b>	<i>Riparia riparia</i>	Golondrina ribereña		LC	
	<i>Icterus cucullatus</i>	Calandria dorso negro		LC	
	<i>Icterus graduacauda</i>	menor		LC	
	<i>Icterus gularis</i>	Bolsero cabeza negra		LC	
	<i>Icterus spurius</i>	Bolsero de Altamira		LC	
	<i>Molothrus aeneus</i>	Calandria castaña		LC	
	<i>Molothrus ater</i>	Tordo ojo rojos		LC	
	<i>Sturnella magna</i>	Tordo cabeza café		LC	
<b>Laniidae</b>	<i>Lanius ludovicianus</i>	Pradero tortilla con chile		LC	
<b>Mimidae</b>	<i>Dumetella carolinensis</i>	Alacaudón verdugo		LC	
	<i>Mimus polyglottos</i>	Mauillador gris		LC	
	<i>Toxostoma longirostre</i>	Cenzontle común		LC	
<b>Paridae</b>	<i>Baeolophus atricristatus</i>	Cuicacoche piquilargo		LC	
<b>Parulidae</b>	<i>Cardellina pusilla</i>	Carbonero cresta negra		LC	
	<i>Geothlypis poliocephala</i>	Chipe corona negra		LC	
	<i>Geothlypis tolmiei</i>	Mascarita pico grueso		LC	
	<i>Leiothlypis celata</i>	Chipe lores negros	A	LC	
	<i>Mniotilta varia</i>	Chipe oliváceo		LC	
	<i>Setophaga coronata</i>	Chipe trepador		LC	
	<i>Setophaga petechia</i>	Chipe coronado		LC	
	<i>Setophaga pitiayumi</i>	Chipe amarillo		LC	
	<i>Setophaga virens</i>	Chipe tropical		LC	
	<b>Passerellidae</b>	<i>Arremonops rufivirgatus</i>	Chipe Dorso Verde		LC
		<i>Chondestes grammacus</i>	Cerquero oliváceo		LC
<i>Melospiza lincolni</i>		Gorrión arlequín		LC	
<i>Spizella pallida</i>		Gorrión de Lincoln		LC	
<i>Spizella passerina</i>		Gorrión pálido		LC	
<i>Poliophtila caerulea</i>		Gorrión ceja blanca		LC	
<b>Poliophtilidae</b>					
<b>Regulidae</b>	<i>Regulus calendula</i>	Perlita azul gris		LC	
<b>Remizidae</b>	<i>Auriparus flaviceps</i>	Reyezuelo rubí		LC	
<b>Thraupidae</b>	<i>Sporophila moreletii</i>	Baloncillo		LC	
	<i>Tiaris olivaceus</i>	Semillero		LC	
	<i>Volatinia jacarina</i>	Semillero oliváceo		LC	
<b>Troglodytidae</b>	<i>Catherpes mexicanus</i>	Semillero brincador		LC	
	<i>Pheugopedius maculipectus</i>	Saltapared barranqueño		LC	
	<i>Salpinctes obsoletus</i>	Saltapared moteado		LC	
	<i>Thryomanes bewickii</i>	Saltapared de rocas		LC	
	<i>Thryothorus ludovicianus</i>	Chivirín cola oscura		LC	
	<i>Troglodytes aedon</i>	Saltapared de carolina		LC	
	<i>Troglodytes aedon</i>	Chivirín saltapared		LC	
	<i>Troglodytes aedon</i>	Chivirín saltapared		LC	
<b>Turdidae</b>	<i>Catharus guttatus</i>	Zorzal cola canela		LC	
	<i>Turdus grayi</i>	Mirlo café		LC	
<b>Tryrannidae</b>	<i>Camptostoma imberbe</i>	Mosquerito chillón		LC	
	<i>Empidonax sp.</i>	Papamoscas		LC	
	<i>Myiarchus cinerascens</i>	Papamoscas cenizo		LC	

Familia	Especie	Nombre común	N-059	IUCN
<b>Vireonidae</b>	<i>Myiarchus tyrannulus</i>	Papamoscas gritón		LC
	<i>Pitangus sulphuratus</i>	Luis bienteveo		LC
	<i>Sayornis phoebe</i>	Papamoscas fibi		LC
	<i>Sayornis saya</i>	Papamoscas llanero		LC
	<i>Tyrannus couchii</i>	Tirano cuír		LC
	<i>Tyrannus tyrannus</i>	Tirano dorso negro		LC
	<i>Vireo bellii</i>	Vireo de Bell		LC
	<i>Vireo griseus</i>	Vireo ojiblanco		LC
	<i>Vireo solitarius</i>	Vireo anteojillo		LC
<b>Pelecaniformes</b>				
<b>Ardeidae</b>	<i>Nycticorax nycticorax</i>	Garza nocturna corona		LC
		negra		LC
<b>Piciformes</b>				
<b>Picidae</b>	<i>Dryobates scalaris</i>	Carpintero mexicano		LC
		<i>Melanerpes aurifrons</i>	Carpintero cheje	LC
<b>Psittaciformes</b>				
<b>Psittacidae</b>	<i>Amazona oratrix</i>	Loro cabeza amarilla	P	EN
<b>Strigiformes</b>				
<b>Strigidae</b>	<i>Glaucidium brasilianum</i>	Tecolote bajoño		LC
<b>Trogoniformes</b>				
<b>Trogonidae</b>	<i>Trogon elegans</i>	Coa elegante		LC

NOM-059-SEMANAT-2010: P (En peligro de extinción), A(Amenazada); Pr (sujeta a protección especial). IUCN: VU (vulnerable), LC (preocupación menor), NT (amenazada), EN (en peligro) \*(Su población está disminuyendo)

Tabla 5. Especies listadas en alguna categoría de riesgo en la NOM-059-2010 o la lista roja (IUCN) .

Familia	Especie	Nombre común	N-059	IUCN
<b>Accipitridae</b>	<i>Accipiter cooperii</i>	Gavilán de cooper	Pr	LC
	<i>Buteo albonotatus</i>	Aguililla aura	Pr	LC
	<i>Buteo swainsoni</i>	Aguililla de swainson	Pr	LC
	<i>Elanoides forficatus</i>	Milano tijereta	Pr	LC
	<i>Geranoaetus albicaudatus</i>	Aguililla cola blanca	Pr	LC
	<i>Ictinia mississippiensis</i>	Milano de Mississippi	Pr	LC
	<i>Parabuteo unicinctus</i>	Aguililla rojinegra	Pr	LC
	<b>Cardinalidae</b>	<i>Passerina ciris</i>	Colorín siete colores	Pr
<b>Ciconiidae</b>	<i>Mycteria americana</i>	Cigüeña americana	Pr	LC
<b>Falconidae</b>	<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino	Pr	LC
<b>Parulidae</b>	<i>Geothlypis tolmiei</i>	Chipre lores negros	A	LC
<b>Psittacidae</b>	<i>Amazona oratrix</i>	Loro cabeza amarilla	P	EN
<b>Icteridae</b>	<i>Sturnella magna</i>	Pradero tortillaconchile	SC	NT
<b>Laniidae</b>	<i>Lanius ludovicianus</i>	Alcaudón verdugo	SC	NT
<b>Odontophoridae</b>	<i>Colinus virginianus</i>	Codorniz cotui	SC	NT

NOM-059-SEMANAT-2010: P (En peligro de extinción), A(Amenazada); Pr (sujeta a protección especial). IUCN: VU (vulnerable), LC (preocupación menor), NT (amenazada), EN (en peligro) \*(Su población está disminuyendo)

El muestreo realizado es representativo de la comunidad (Figura 4); Según los estimadores de riqueza Chao 1 y Chao 2 las especies que puede presentar en la zona están en el rango de 136 y 170 especies (Figura 5).

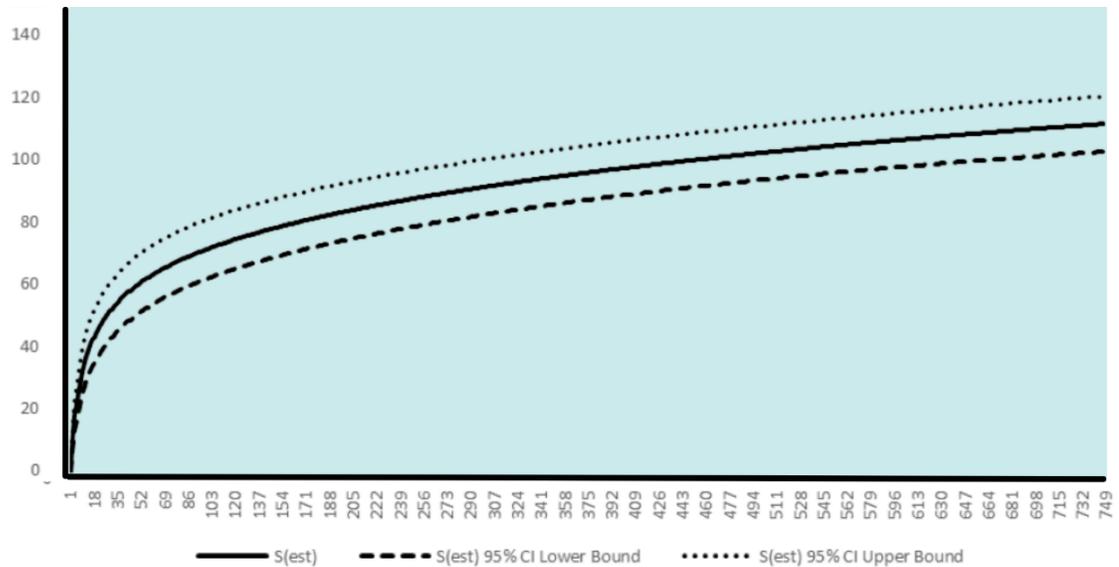


Figura 4. Curva de acumulación de especies de aves por esfuerzo de muestreo, con IC95%, para los muestreos realizados (rarefacción basada en muestras, Colwell et al 2004). Anual en el Parque Eólico II en Tamaulipas.

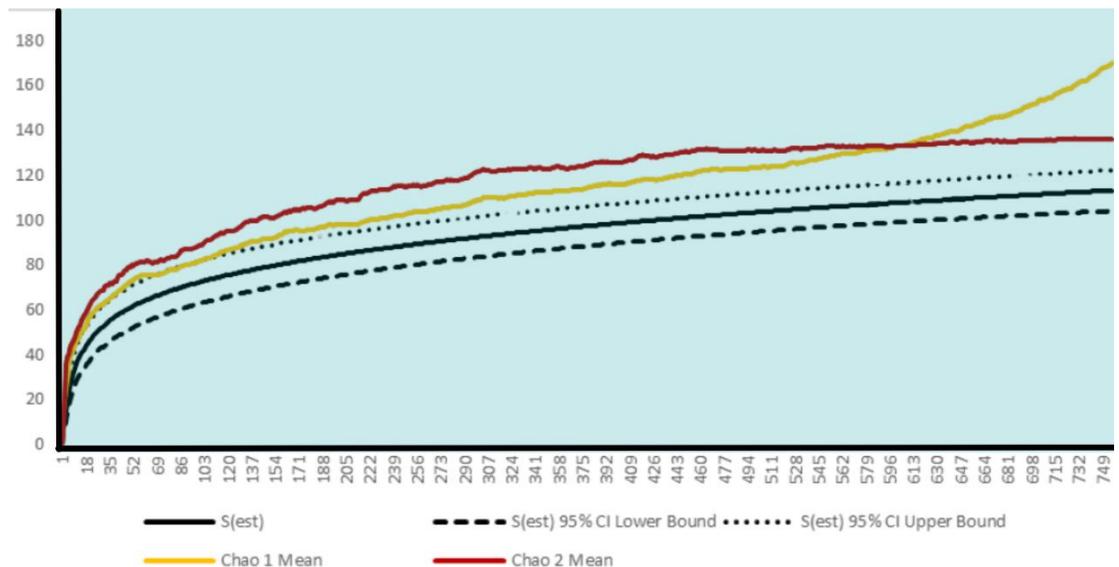


Figura 5. Comparativa de la riqueza registrada para aves en campo con los estimadores de riqueza Chao1 (amarillo; Chao 1984; Chazdon *et al.*, 1998), Chao 2 (rojo; Chazdon *et al.* 1998) Parque Eólico II en Tamaulipas.

## 2.2 Riqueza de murciélagos

Se registraron 24 especies de murciélagos (Tabla 13), de un orden, 4 familias y 26 géneros diferentes y un total de 8,073 individuos durante el periodo de un año. Sólo *Echisthenes hartii* se encuentra registradas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 bajo la categoría de protección especial (Pr).

Tabla 6. Listado de murciélagos registrados en el PET

Especie	Nombre común	N-059	UICN	Gremio
<b>Molossidae</b>				
<i>Eumops sp</i>	Murciélago de bonete		LC	Insectívoro
<i>Molossus rufus</i>	Murciélago mastín negro		LC	Insectívoro
<i>Nyctinomops laticaudatus</i>	Murciélago cola suelta ancha		LC	Insectívoro
<i>Nyctinomops macrotis</i>	Murciélago cola suelta mayor		LC	Insectívoro
<i>Tadarida brasiliensis</i>	Murciélago cola suelta brasileño		LC	Insectívoro
<b>Mormoopidae</b>				
<i>Mormoops megalophylla</i>	Murciélago barba arrugada norteño		LC	Insectívoro
<i>Pteronotus davyi</i>	Murciélago lomo pelón menor		LC	Insectívoro
<i>Pteronotus parnellii</i>	Murciélago bigotudo de Parnell		LC	Insectívoro
<b>Phyllostomidae</b>				
<i>Desmodus rotundus</i>	Vampiro común		LC	Hematófago
<i>Sturnira ludovici</i>	Murciélago de Charreteras Mayor		LC	Frugívoro
<i>Artibeus jamaicensis</i>	Murciélago frutero		LC	Frugívoro
<i>Artibeus lituratus</i>	Murciélago frutero mayor		LC	Frugívoro
<i>Artibeus toltecus</i>	Murciélago frugívoro tolteca		LC	Frugívoro
<i>Enchisthenes hartii</i>	Murciélago frutero menor	Pr	LC	Frugívoro
<b>Vespertilionidae</b>				
<i>Antrozous pallidus</i>	Murciélago desértico norteño		LC	Insectívoro
<i>Eptesicus fuscus</i>	Murciélago moreno norteño		LC	Insectívoro
<i>Lasiurus blossevillii</i>	Murciélago cola peluda rojizo		LC	Insectívoro
<i>Lasiurus cinereus</i>	Murciélago cola peluda canoso		LC	Insectívoro
<i>Lasiurus ega</i>	Murciélago cola peluda amarillo		LC	Insectívoro
<i>Lasiurus intermedius</i>	Murciélago cola peluda norteño		LC	Insectívoro
<i>Myotis auriculus</i>	Miotis orejudo		LC	Insectívoro
<i>Myotis velifer</i>	Miotis mexicano		LC	Insectívoro
<i>Nycticeius humeralis</i>	Murciélago crepuscular americano		LC	Insectívoro
<i>Pipistrellus hesperus</i>	Pipistrello del oeste americano		LC	Insectívoro

NOM-059-SEMARNAT-2010: P (En peligro de extinción), A(Amenazada); Pr (sujeta a protección especial). IUCN: VU (vulnerable), LC (preocupación menor), NT (amenazada), EN (en peligro) \*(Su población está disminuyendo)

El muestreo realizado es representativo de la comunidad (Figura 6); Según los estimadores de riqueza Chao 1 y Chao 2 las especies que puede presentar en la zona están en el rango de 18 y 19.65 especies (Figura 7).

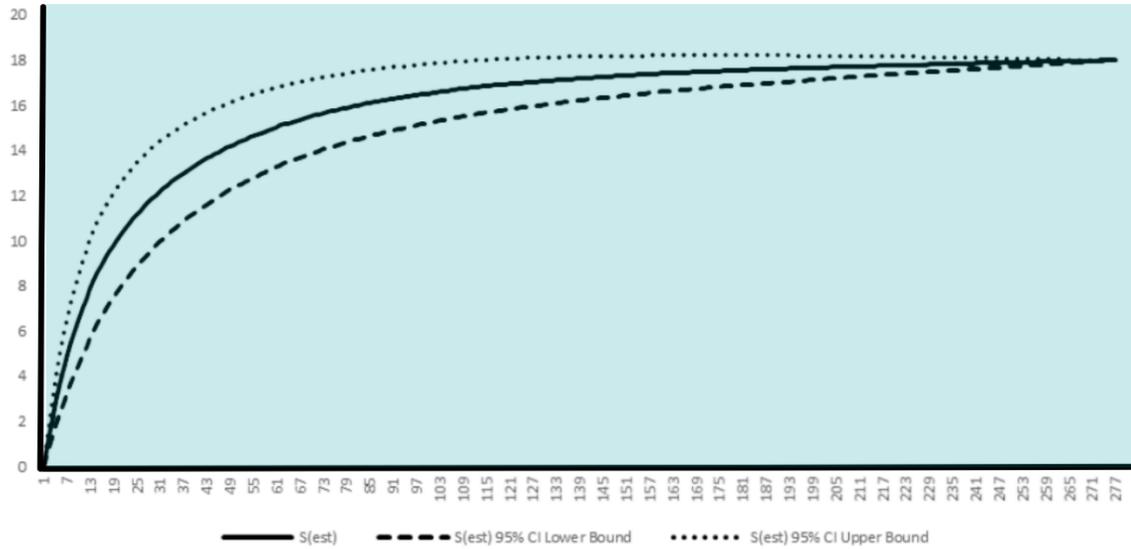


Figura 6. Curva de acumulación de especies para murciélagos por esfuerzo de muestreo en el Parque Eólico II localizado en Tamaulipas.

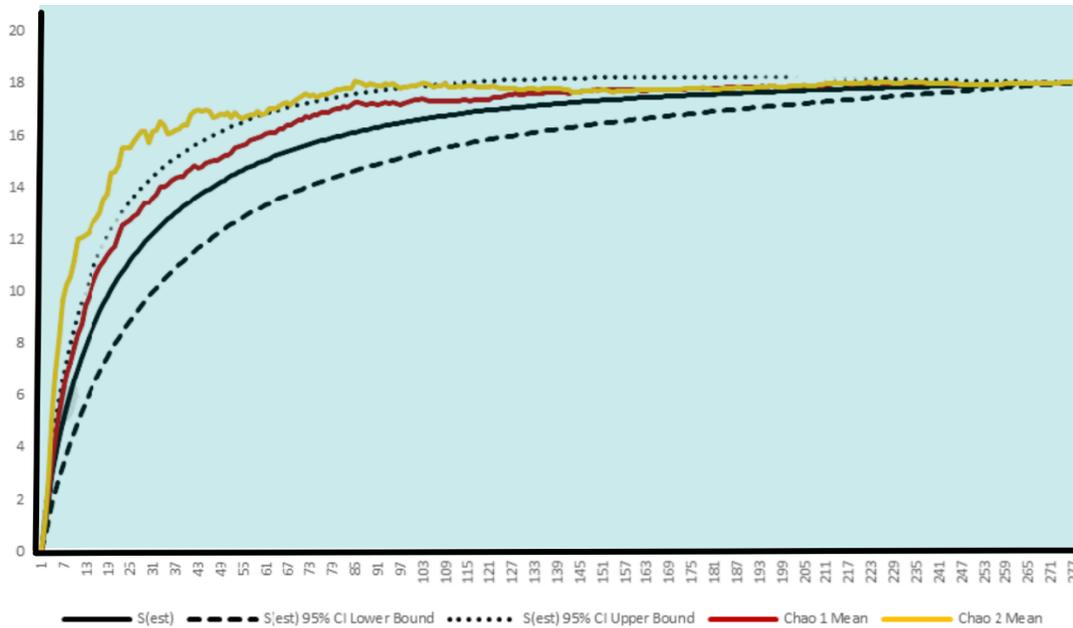


Figura 7. Comparativa de riqueza registrada en campo por medio de puntos de conteo con los estimadores de riqueza Chao 1 (rojo) Chao 2 (amarillo) en el Parque 2

## 2.3 Búsqueda de Carcasas

### 2.3.1 Aves

Un total de 33 carcasas fueron encontradas: 9 durante la búsqueda estandarizada y 24 de manera incidental. En total 13 especies fueron identificadas y solamente un ejemplar no se pudo identificar debido a que solo se encontraron las alas (Tabla 7).

Tabla 7. Registro de carcasas de aves encontrados durante el monitoreo anual 2020-2021 en el Parque Eólico II localizado en Tamaulipas.

Especie	Búsquedas		Total
	Estandarizadas	Incidentales	
<i>Buteo albonotatus</i>	-	1	1
<i>Antrostomus salvini</i>	-	1	1
<i>Columbina passerina</i>	4	2	6
<i>Leptotila verreauxi</i>	-	2	2
<i>Zenaida asiática</i>	1	12	13
<i>Zenaida macroura</i>		-	1
<i>Coccyzus</i>	1	1	1
<i>americanus</i>	-	1	1
<i>Coccyzus minor</i>	-	1	1
<i>Geothlypis trichas</i>	-	-	1
<i>Setophaga pitiayumi</i>	1	1	2
<i>Setophaga virens</i>	1	1	1
<i>Melospiza lincolni</i>	-	1	1
<i>Amazona autumnalis</i>	-	-	1
<b>Sin identificar</b>	1		
<b>Subtotal</b>	9	24	33

El 73% de las carcasas fueron encontradas de forma incidental fuera de las áreas de búsqueda siendo la de mayor porcentaje *Zenaida asiática*; Mientras que en las búsquedas estandarizadas fue *Columbina passerina*.

De las aves encontradas, *Coccyzus minor* y *Coccyzus americanus* son aves migratorias de verano, *Geothlypis trichas*, *Melospiza lincolni* y *Setophaga virens* migratorias de invierno, *Antrostomus salvini*, *C. passerina*, *Leptotila verreauxi*, *Stophaga pitiayumi*, *Z.*

*asiática* y *Z. macroura* son residentes, *Buteo albonotatus* transitoria y *Amazona autumnalis* es introducida. La única especie encontrada citada en la NOM-059-SEMARNAT-2010 como especie bajo protección especial (Pr) fue *Buteo albonotatus*.

### 2.3.2 Murciélagos

Un total de 42 murciélagos fueron registrados durante el monitoreo, 22 cadáveres de 7 especies se encontraron en búsquedas estandarizadas y 20 pertenecientes a 8 especies fueron de forma incidental. Las especies con mayor incidencia dentro de las búsquedas estandarizadas fueron *Nyctinomops laticaudatus* con 8 especies, seguido por *Lasiurus blossevillii*, *Nyctinomops macrotis* y *Tadarida brasiliensis* con tres cadáveres cada especie. De manera incidental se encontró a *Tadarida brasiliensis* con 5 individuos, seguida de *Lasiurus cinereus* (4 especies) y *Nyctinomops laticaudatus* (3 especies) (Tabla 8).

Tabla 8. Registro de carcasas pertenecientes a murciélagos durante el monitoreo anual 2020

Especie	Búsqueda		Total
	Estandarizada	Incidental	
<i>Nyctinomops laticaudatus</i>	8	3	11
<i>Nyctinomops macrotis</i>	3	2	5
<i>Tadarida brasiliensis</i>	3	5	8
<i>Artibeus jamaicensis</i>	-	1	1
<i>Lasiurus blossevillii</i>	3	2	5
<i>Lasiurus cinereus</i>	2	4	6
<i>Lasiurus ega</i>	1	1	2
<i>Lasiurus intermedius</i>	2	2	4
<b>Subtotal</b>	<b>22</b>	<b>20</b>	<b>42</b>

Ninguna de las especies registradas se encuentra reportada en la NOM-059-SEMARNAT 2010 ni en la lista roja.

## 2.4 Tasa de mortalidad

### 2.4.1 Tasa de eficiencia del buscador

La tasa media de eficiencia (f) de los buscadores (IC: 95%) para cada una de las clases de tamaño fueron:

Tabla 9. Tasa media de eficiencia

Categoría	F	IC 95%
<b>Todas las aves</b>	0.917	(0.3; 0.286-0.917 )
<b>Aves grandes</b>	0.917	(0.3; 0.287-0.974)
<b>Aves pequeñas</b>	0.917	(0.3; 0.285-0.976)
<b>Murciélagos</b>	0.933	(.299; 0-297-0.980)

### 2.4.2 Tasa de persistencia de cadáveres

Para las aves el invierno presentó el valor más bajo de persistencia media (1.07 días) y el otoño el valor más alto (5.33 días). En los murciélagos el invierno también presentó el valor más bajo (1.47 días) mientras que la primavera el más alto (2.87 días) (Tabla 10).

Tabla 10. Tiempo de persistencia en cada estación de los cadáveres por categoría de tamaño con sus intervalos de confianza al 95% en el Parque Eólico 2

Tamaño	Probabilidad de persistencia	IC 95%		Tiempo de persistencia media (Días)
		Inferior	Superior	
<b>Verano</b>				
<b>Todas las aves</b>	0.65	0.25	0.86	3.15
<b>Aves grandes</b>	0.80	0.57	0.91	4.75
<b>Aves pequeñas</b>	0.54	0.19	0.83	3.08
<b>Murciélagos</b>	0.62	0.25	0.90	2.86
<b>Otoño</b>				
<b>Todas las aves</b>	0.81	0.56	0.93	5.33
<b>Aves grandes</b>	0.87	0.65	0.95	6.94
<b>Aves pequeñas</b>	0.60	0.43	0.73	1.93
<b>Murciélagos</b>	0.65	0.35	0.86	2.63

Tamaño	Probabilidad de persistencia	IC95% Inferior	Superior	Tiempo de persistencia media (Días)
<b>Invierno</b>				
<b>Todas las aves</b>	0.39	0.03	0.78	1.07
<b>Aves grandes</b>	0.41	0.03	0.79	1.13
<b>Aves pequeñas</b>	0.39	0-21	0.57	1.07
<b>Murciélagos</b>	0.51	0.33	0.66	1.47
<b>Primavera</b>				
<b>Todas las aves</b>	0.74	0.55	0.85	4.03
<b>Aves grandes</b>	0.78	0.56	0.89	0.89
<b>Aves pequeñas</b>	0.56	0.20	0.83	1.85
<b>Murciélagos</b>	0.68	0.23	0.92	2.87

La tasa de mortalidad estimada para todas las aves fue de 1.33 aves/MW/año (4.6 aves/aerogenerador/año). Para las aves pequeñas fue de 0.69 aves/MW/año (2.40/aerogenerador/año). La tasa de mortalidad de murciélagos fue de 3.48 Murciélagos/MW/año (12.07/aerogenerador/año) (Tabla 11). Las tasas para cada una de las estaciones se pueden visualizar en la tabla 12.

Tabla 11. Tasas de mortalidad estimadas para aves y murciélagos con sus intervalos de confianza al 95% durante el período anual 2020 -2021 en el Parque Eólico 2

Fatalidades/aerogenerador/año	Valor	IC 95%	
	estimado	Inferior	Superior
<b>Aves</b>	4.6	0.80	72.33
<b>Aves grandes</b>	2.13	0.40	50.73
<b>Aves pequeñas</b>	2.4	0.13	34
<b>Murciélagos</b>	12.07	3.73	79.73
Fatalidades/megavatio/año	Valor	IC 95%	
	estimado	Inferior	Superior
<b>Aves</b>	1.33	0.23	20.87
<b>Aves grandes</b>	0.62	0.12	14.63
<b>Aves pequeñas</b>	0.69	0.04	9.81
<b>Murciélagos</b>	3.48	1.08	23

## II) Impactos acumulativos.

En los dos parques eólicos estudiados en el noreste de México se pudo encontrar coincidencia en la muerte incidental para aves en *Setophaga virens*, con 3 individuos; En la búsqueda estandarizada 2 y 1 para la incidental. Para los murciélagos, las especies que tuvieron coincidencia entre parques fueron: *Lasiurus cinereus* con 22 individuos; 17 encontrados durante la búsqueda estandarizada y 5 en la incidental. *Nyctinomops macrotis* 13 individuos, 11 en la búsqueda estandarizada y 2 en la incidental y *Tadarida brasiliensis* 27 individuos con 21 en la búsqueda estandarizada y 6 en la incidental (Tabla 25). Todas las especies son insectívoros tres de ellas con presencia todo el año en las áreas de estudio y solo *Setophaga virens* se reporta como migratoria de invierno. Ninguna se encuentra en la NOM-059-SEMARNAT 2010 o en la Lista Roja de Especies Amenazadas de la Unión para la Conservación de la Naturaleza 2020.

Tabla 25. Muertes incidentales en de especies con coincidencia en los parques eólicos estudiados del Norestes de México.

Especie	BE	BI	Total	Residencia	Gremio
<b>Aves</b>					
<i>Setophaga virens</i>	2	1	3	MI	I
<b>Murciélagos</b>					
<i>Lasiurus cinereus</i>	17	5	22	M*	I
<i>Nyctinomops macrotis</i>	11	2	13	M*	I
<i>Tadarida brasiliensis</i>	21	6	27	R	I

BE: Búsqueda estandarizada, BI: incidental. MI: migratoria invernal R: residente M\*: registrada como migratoria pero encontrada durante las cuatro estaciones del año. I: insectívoro

El impacto acumulativo resultante de los dos parques eólicos para aves fue de 3,96 aves/MW/año (11 aves/MW/aerogenerador) y para murciélagos fue de 32.88 murciélagos /MW/año (73.80 murciélagos/MW/aerogenerador).

# DISCUSIÓN

## I) Impactos individuales

### 1.1 Parque eólico I en Coahuila

#### 1.1.1 Riqueza aves

La composición de riqueza para la comunidad de aves presente en el Parque Eólico I muestra una riqueza baja (110 especies), comparada con la riqueza que se encuentra en el estado (398 especies) (Garza et al., 2007). Sin embargo, se encuentra bien representada de acuerdo con los estimadores de riqueza, el índice de completitud; y la fauna reportada para el matorral espinoso; la vegetación predominante donde se encuentra ubicado el Parque Eólico I (PEC), el cual según Garza y colaboradores (2017) registraron un total de 96 especies para la zona.

Es importante notar que la mayoría de las aves que se encuentran en la zona y están registradas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 son especies longevas con tasas reproductivas bajas y/o especies migratorias, lo cual las hace más sensibles a un aumento en la mortalidad de adultos, disminución de la población y cambios demográficos (Saether y Bakke 2000; Schipper et al., 2020). Por lo tanto, la conservación de estas aves debería ser una prioridad. Algunas de las oportunidades en este rubro se discutirán más adelante.

#### 1.1.2 Carcasas aves

El 56 % de las aves afectadas fueron aves rapaces (*Buteo jamaicensis* seguido por *Falco sparverius* y *Cathartes aura*). En el estudio prospectivo para el área realizado por West In. en el 2014; se concluyó que el riesgo de colisión de las aves rapaces era bajo y que, si bien la mortalidad para *Buteo jamaicensis* podría ocurrir, sería mínima y por debajo de niveles que podrían afectar a las poblaciones de dicha especie. Esta diferencia entre estudios previos y posteriores es “normal” puesto a que es imposible predecir con precisión la mortalidad posterior a la construcción en función a los datos previos a la construcción (Hein et al 2013; Schipper 2020). Esta incertidumbre y errores se dan por la falta de conocimiento específico sobre el comportamiento en el vuelo para evitar los

aerogeneradores, y por qué en la mayoría de los estudios, las estimaciones de los riesgos de colisión se basan solamente en la distribución de especies en general, observaciones directas, el flujo de aves que pasa por el área donde se pretende construir el parque eólico, y el conocimiento de la altura de vuelo (Masden y Cook, 2016).

Otra cuestión se da cuando no se conoce el estatus de las poblaciones, como es el caso de las rapaces en México, donde los estudios biológicos y ecológicos son muy limitados (Hull et al. 2008) y se debe tomar una decisión sobre cuántos ejemplares con muerte incidental es el número aceptable para dichas poblaciones. Para poder tomar esta decisión respecto a esta cuestión, en la unión europea y Estados Unidos han adoptado varios umbrales de mortalidad, debido a que ofrecen aparentemente un método claro, para establecer si la integridad de la población está en riesgo (Schipper et al., 2020) Uno de ellos es el criterio ORNIS que en un principio era utilizado solamente para aves, pero actualmente se incorporaron los murciélagos (Akerboom et al., 2021). Este criterio menciona que si la muerte accidental de especies causada por actividades antropogénicas específicas está por debajo del 1% de la mortalidad anual total, dicha actividad se considera permisible independientemente del estatus de las especies y el tamaño poblacional (Akerboom 2021). Sin embargo, Schipper y colaboradores en el 2020, demostraron la incertidumbre del umbral con respecto a la predicción de impactos de mortalidad y como su uso puede subestimar severamente el efecto de los parques eólicos en el desarrollo y conservación de las poblaciones de aves.

Otro umbral utilizado es el “Potential Biological Removal Method” (PBR), el cual es más específico de las especies e incluye el estado de conservación (Akerboom 2019).

Sin embargo, estos umbrales en lugar de proteger a las poblaciones de una disminución significativa están generando conclusiones engañosas sobre el impacto de la mortalidad adicional (Langston et al., 2016, Schipper 2020). Esto se debe a que dejan de lado los procesos dependientes de la densidad de las poblaciones de las aves los cuales pueden llegar a ser muy inciertos, y provoca que se generen conclusiones engañosas sobre el impacto de la mortalidad adicional cuando no se cumplen dichos supuestos (O’Brien et al., 2017, Schipper 2020).

En México no se ha adoptado algún umbral que marque una pauta respecto a la mortalidad aceptada para los parques eólicos, sin embargo, esto abre una gran oportunidad para desarrollar enfoques más detallados para evaluar el impacto de los parques eólicos en las poblaciones de aves y murciélagos, generando resultados más precisos tomando en cuenta los datos a nivel local. Sin embargo, es un trabajo arduo y complejo que necesitaría de expertos y mayor investigación en el conocimiento de los procesos de las especies.

Por otra parte, la única especie en alguna categoría de riesgo que presentó muerte incidental de solamente un ejemplar fue *Buteo swainsoni*. El halcón de Swainson es un ave rapaz altamente migratoria (Kane et al., 2020), que se reproduce en pastizales, bosques abiertos y paisajes agrícolas (Hull et al 2008). En nuestro país presenta una reducción en su población debido al pastoreo excesivo de pastizales secos y praderas los cuales son su hábitat (Kufman 2005). Para el estado de Coahuila no hay registro sobre estimaciones de la población, sin embargo, Rich y colaboradores en el 2004 estimaron la población mundial en 460,000 individuos en base a observaciones en el punto de conteo Rio de Rapaces en Veracruz, y para el 2010 la estimación llegó a 894,000 individuos (Ruelas et al., 2010). Sin embargo, a pesar del aumento de la población Schipper y colaboradores en el 2020 concluyeron que la viabilidad de las poblaciones de aves puede ser muy sensible a aumentos proporcionalmente pequeños en la mortalidad. Incluso concluyen que el aumento en la mortalidad accidental del 1% en las cohortes posteriores al emplumamiento podría resultar en la disminución del 2- 24% en 10 años en algunas aves, en especial para las poblaciones que depende de la capacidad para compensar los aumentos en las tasas de mortalidad a través de los procesos dependientes de la densidad como las aves rapaces.

Otro punto por considerar sobre el halcón de Swainson, la cual es una especie longeva, que puede llegar a vivir hasta los 20 años, que tienen una etapa reproductiva tardía que inicia alrededor de los 4 años (Bechard et al., 2010, Kane et al 2010) y una tasa de reproducción baja es que Kane y colaboradores (2020) encontraron durante su estudio que la edad promedio de muerte para esta especie en la actualidad es de 5 a 9 años, dejando solamente un rango de reproducción de 1-5 años en promedio. Esto provoca que

sea menos capaz de compensar la mortalidad con un aumento en la reproducción (Saether y Baker 2000).

Por otro lado, según las estimaciones de la National Audubon Society (2021) si seguimos con el desarrollo insostenible, y detenemos el desarrollo de las energías limpias, el cambio climático afectará drásticamente a esta especie si la temperatura se eleva solamente 3°C, pues se calcula que la población en nuestro país disminuirá un 45%.

### 1.1.3 Riqueza murciélagos

Para este parque eólico no se encontraron los registros de riqueza de murciélagos, esto puede deberse al reciente interés en el orden. En Estados Unidos antes del 2001 la gran parte de las investigaciones estaba enfocada a evaluar la mortalidad incidental de las aves y solo se pueden encontrar pocos trabajos respecto a murciélagos (Anderson et al., 1999 Jhonson 2005, Kunz et al., 2007). En México los estudios que involucraban a los murciélagos empezaron a realizarse en el 2008, en el parque Eólico La Venta II a cargo de la Comisión Federal de Electricidad. (Comisión Federal de electricidad 2008); el segundo en el 2009 y el tercero hasta el 2011 en el mismo parque (Comisión Federal de electricidad 2011).

### 1.1.4 Carcasas murciélagos

El 100% de las carcasas encontradas en el PEC pertenecen al gremio trófico insectívoro, coincidiendo con lo reportado por Kunz y colaboradores (2017) donde menciona que es este gremio el más susceptibles a colisiones con los aerogeneradores en los parques eólicos, debido a que las colisiones están relacionadas con el comportamiento y la búsqueda de alimento (Horn et al 2008). Para el caso de los murciélagos insectívoros se ha reportado que el calor generado por los aerogeneradores atrae a los insectos a volar cerca de las aspas aumentando su presencia cuando las velocidades del viento son bajas (4.3 y 5.7 m/s) (Cryan y Barclay 2009; Atienza et al., 2011) y así mismo a estas especies insectívoras de murciélagos (Nicholls y Racey 2007, Kunz et al., 2010).

Las especies encontradas pertenecen a dos familias taxonómicas: Vespertilionidae y Molossidae, coincidiendo con lo reportado por varios autores donde mencionan que las familias más vulnerables son Phyllostomidae, Mormoopidae, Molossidae y Vespertilionidae (McCraket et al., 2008, Arnett et al., 2008, Gordon y Poe 2014, Cabrera-Cruz et al., 2020). En el caso de la familia Vespertilionidae, el género *Lasiurus* posee el 68% de las muertes incidentales reportadas, probablemente por las migraciones estacionales y su percha en árboles (Arnett et al., 2008). El 32 % de las carcasas encontradas corresponden a la familia Molossidae. Su susceptibilidad se debe a su comportamiento de vuelo alto (McCraket et al., 2008).

#### 1.1.5 Tasa de mortalidad

La tasa de mortalidad de las aves para el PEC en el 2018 (1.33 aves/MW/año, 4.6aves/aerogenerador/año) se encuentra dentro de los rangos descritos para otros parques eólicos de distintos países como Estados Unidos (13 parques eólicos con rangos de 0-9.33 aves/aerogenerador/año) (Barclay et al., 2007); (0-20 aves/MW/ año en Estados Unidos) (Edkins 2014), ó en Bélgica (27.6 aves/Aerogenerador /año) (Evereaert y Stienen 2006).

En cuanto a las muertes estimadas de murciélagos por aerogenerador al año para el PEC (61.73 murciélagos/aerogenerador/año, 29.40 murciélagos/MW/año) son más altas que las reportadas para cada uno de los 33 parques eólicos de Estados Unidos (0-13.64 Murciélagos/MW/año) según la información recopilada por Barclay y colaboradores en el 2007. Sin embargo, para el 2010 Kunz y colaboradores modificaron este rango a 15.3 – 41.1 murciélagos/MW/año, dejando nuestra tasa de mortalidad dentro del rango reportado este país y Canadá (0-103 murciélagos/turbina/año) (Zimmerling y Francis 2016). Así mismo en el sur de México en el estado de Oaxaca reportan una tasa de mortalidad que coincide con lo reportado para el PEC (20.47-43.79 murciélagos/MW/año) (Briones-Salas y Martín-Regalado 2016).

Teniendo en cuenta las bajas tasas de reproducción de los murciélagos y las altas tasas de mortalidad accidental causada por los parques eólicos, es posible que las poblaciones

locales puedan reducirse drásticamente afectando la abundancia de los murciélagos; aún más en aquellos parques que tienen mortalidades sostenidas y un periodo largo de operación. Este impacto podría generar costos ecológicos y agrícolas importantes, ya que los murciélagos insectívoros tienen un papel fundamental en el control de plagas en la agricultura (Hernandez 2005; Boyles et al., 2011, Maine y Boyles 2015).

## **1.2 Parque Eólico en Tamaulipas (PET)**

### 1.2.1 Riqueza de aves

La composición de riqueza para la comunidad de aves presente en el PET muestra una riqueza baja (113 especies), comparada con la riqueza que se encuentra en el estado (553 especies) (Garza et al., 2007; Rodríguez-Ruíz y Garza-Torres 2017). Sin embargo, se encuentra bien representada de acuerdo con los estimadores de riqueza, el índice de completitud; y la fauna reportada para el matorral submontano tamaulipeco; la vegetación predominante donde se encuentra ubicado el Parque Eólico II, el cual según Garza y colaboradores (2017) registraron un total de 156 especies para la zona.

### 1.2.2 Carcasas de aves

El 40% de las carcasas encontradas en el Parque Eólico II fueron de *Zenaida asiatica*, perteneciente a la familia taxonómica Columbidae (tórtolas y palomas). Nuestros resultados contrastan con Erickson y colaboradores en su reporte realizado en EUA en el 2011, mencionan que el 78% de las fatalidades son presentadas en el orden Paseriformes o el estudio de Johnson y colaboradores en el 2000, donde posiciona a los paseriformes en el mayor número de muertes incidentales, seguidos por las aves acuáticas y por ultimo las rapaces. Esto se puede deber a que están presente todo el año en el área de estudio, y cerca se encuentra una de las colonias de anidación más grandes de México para la especie (Sánchez et al., 2009). Este resultado coincide con un estudio de Gómez-Moreno en el mismo estado en el año 2008.

Si bien no hay estudios recientes que estimen el tamaño poblacional de *Zenaida asiatica* en el noreste de México, el Gobierno de Tamaulipas tiene un programa de monitoreo de dicha especie en los municipios de Abasolo y Jaumave el cual da visibilidad a la reducción de los sitios de anidación principalmente por la limpieza de maleza y catástrofes climáticas (Sanchez et al., 2009). Sin embargo, la especie ha podido persistir y prosperar en diferentes lugares fuera de las colonias de anidación debido a su adaptabilidad a zonas urbanas (Mathewson 2002).

Es importante mencionar que para las aves de tamaño pequeño como los paseriformes y los columbiformes se cree que el efecto a nivel de población es menor debido a su ciclo de vida más corto y altas tasas de reproducción (Erickson et al 2011).

Por otra parte, se registró una sola colisión de *Buteo albonotatus*, ave rapaz dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010. En este caso, hay que tener en cuenta que estas aves presentan ciclos de vida lentos y usan el noreste de México como sitios de reproducción durante el verano (Ferguson-Lees y Christie 2005) además de presentar fidelidad a los sitios de anidación, encuentro, cortejo y reproducción (Synder y Glinski 1998). Por lo tanto, se considera que los impactos en estas especies son más significativos para las poblaciones incluso cuando es una sola ave. Esta muerte incidental, probablemente pudo suceder debido a la cercanía del PET a una zona con copas de árboles altos, mismas que usan para descanso y por cazar en las zonas abiertas además su forma de planeo bajo, a la altura de las turbinas eólicas (Rodríguez y Banda 2015).

### 1.2.3 Riqueza de murciélagos

La composición de riqueza para la comunidad de murciélagos presente en el PET muestra una riqueza alta (24 especies), comparada con la riqueza que se encuentra en el estado (42 especies) (Medellín 2019). Coincidiendo con lo encontrado en los estimadores de riqueza, el índice de completitud; y la fauna reportada para el matorral submontano tamaulipeco; la vegetación predominante donde se encuentra ubicado el Parque Eólico II.

#### 1.2.4 Carcasas de murciélagos

De las carcasas encontradas en el PET para murciélagos el 99% fueron del gremio insectívoro, concordando con los diferentes autores que afirman que la mayoría de los murciélagos afectados por los parques eólicos son insectívoros (Kunz et al., 2017, Horn et al 2008, Cryan y Barclay 2009, Atienza et al., 2011, Nicholls y Racey 2007). Las familias taxonómicas encontradas fueron Molossidae en mayor porcentaje (57.13%) seguido por la familia Vespertilionidae (40.46%) y por último la familia Phyllostomidae (2.38%) concordando con lo encontrado en EUA, Canadá y Brasil (MCCraket et al., 2008; Arnett et al., 2008; Gordon y Poe 2014; Barros et al 2014; Cabrera-Cruz et al., 2020).

La mayor cantidad de carcasas encontradas en el PET es de la especie *Nyctinomops laticaudatus* (26.19%), Si bien el hábitat óptimo para esta especie son los bosques perennifolios (Handley 1976), bosques subtropicales húmedos (Mares et al., 1981) bosques de niebla (Dalquest y Roth 1970) y bosques tropicales caducifolios (Nuñez-Garduño et al., 1981) se ha registrado que puede ocupar hábitats como es el matorral xerófilo (Jones et al., 1973). Es importante destacar que una parte de este parque eólico se encuentra a 100 metros de un bosque de niebla, por lo tanto, el número de muertes incidentales se pueden explicar a esta proximidad y su búsqueda de alimento. Además, en las cercanías se ubica una cueva de maternidad de esta especie (López-González y Best 2006).

La siguiente especie con más carcasas son *Tadarida brasiliensis*. Como se mencionó en el parque anterior, la actividad de los murciélagos insectívoros está relacionada estrechamente con los patrones de actividad de los artrópodos, los cuales a su vez son atraídos a los aerogeneradores por el calor que irradian y la luz que el color blanco de las aspas emite (Do Amaral et al 2020). Además, se registró que especie está siendo afectada en su mayoría en el verano. Esto coincide con la temporada de los primeros vuelos de los subadultos, los cuales tienen reducida las habilidades de vuelo y

ecolocalización, aumentando sus posibilidades de colisionar con los aerogeneradores (Buchler 1980; Franco y Rui 2011; Do Amaral et al., 2020); Sin embargo, para poder comprobar esta relación se tendría que estudiar más a fondo.

Otra de las especies más afectadas fue *Lasiurus cinereus*. Esta especie es migratoria. Los reportes en Estados Unidos mencionan que este género es uno de los más impactados por los parques eólicos (Arnett et al., 2008; Frick et al., 2017), Sin embargo, en el PET no obtuvo el mayor porcentaje de carcadas, contrastando con lo reportado, donde mencionan que posee más de la mitad de las muertes incidentales reportadas para los parques eólicos (Arnett et al., 2008).

#### 1.2.5 Tasa de mortalidad

La tasa de mortalidad para aves en el PET (1.33 aves/MW/año) se encuentra dentro de los rangos descritos para otros parques eólicos de distintos países como Estados Unidos (13 parques eólicos con rangos de 0-9.33 aves/aerogenerador/año) (Barclay et al., 2007); (0-20 aves/MW/ año en Estados Unidos) (Edkins 2014), ó en Bélgica (27.6 aves/Aerogenerador /año) (Eveaert y Stienen 2006).

En cuanto a las muertes estimadas de murciélagos por aerogenerador al año para el PET (12.07 murciélagos/aerogenerador/año, 3.48 murciélagos/MW/año) se encuentran dentro de los rangos reportados para cada uno de los 33 parques eólicos de Estados Unidos (0-13.64 Murciélagos/MW/año) según la información recopilada por Barclay y colaboradores en el 2007. Sin embargo, para el 2010 Kunz y colaboradores modificaron este rango a 15.3 – 41.1 murciélagos/MW/año, dejando nuestra tasa de mortalidad por debajo del rango reportado este país y Canadá (0-103 murciélagos/turbina/año) (Zimmerling y Francis 2016).

## **II) Impactos acumulativos**

Entre los parques eólicos hay una diferencia notoria, siendo el estado Coahuila el de mayor tasa de mortalidad. Podríamos atribuir la diferencia a la vegetación y biodiversidad del lugar, sin embargo, el estado de Tamaulipas posee la mayor cantidad de biodiversidad

(432sp) y se encuentra cerca de un bosque tropical subcaducifolio, un bosque mesófilo de montaña, bosque de pino encino y un matorral. Mientras que los otros parques están localizados en matorrales submontanos. La diferencia podría ser atribuida a la localización de los aerogeneradores (a favor del viento, formando corredores lineales, efecto barrera, la altura o la medida del barrido de las aspas, ya que según Atienza y colaboradores (2011) la localización de los aerogeneradores tiene un gran efecto en la probabilidad de colisión. Otro factor que puede determinar las muertes incidentales dentro de los parques son las medidas de mitigación seguidas para el lugar en específico ya que se ha reportado que los efectos son variables y específicos de la especie, estación y el lugar (Kunz et al 2010; Atienza et al 2011).

En cuanto a la colisión entre parques se registró una tasa de mortalidad baja para aves comparada con las reportadas para, Europa (20 MW/aerogenerador) y una muy parecida a la reportada en EUA (5.25 MW/aerogenerador). Para murciélagos la tasa de mortalidad es más alta que lo reportado en Canadá (12-14 MW/año), pero dentro de las tasas reportadas para EUA (15-41 MW/año). Estas tasas de mortalidad resultaron en mayor cantidad durante época migratoria (verano-otoño) y en aquellos géneros que perchan en árboles y tienen hábitos insectívoros concordando con lo reportado por diferentes autores.

A pesar de que solo hubo una colisión de *Buteo albonotatus* y *B. swasonii* reportadas para los tres parques, hay que tener en cuenta que estas aves presentan ciclos de vida lentos y tienen preferencia por corredores de aire para su ruta migratoria, mismos que son preciados por la industria eólica (Smallwood 2010; Subramanian 2012). Por lo tanto, se considera que los impactos en estas especies son más significativos para las poblaciones. En el caso de *Buteo albonotatus*, se ha reportado en las fatalidades de diversos parques del país como Veracruz y Oaxaca, aumentando el riesgo para la especie (Ledec et al 2011; Villegas -Patraca y colaboradores 2014).

Si bien la CONABIO (2021) menciona que actualmente las aves rapaces están cambiando su comportamiento migratorio, ajustando sus trayectorias de vuelo con el fin de evitar los parques eólicos. No hay que olvidar que los efectos acumulativos de todos los parques en

la ruta migratoria de las aves puede afectar las poblaciones. Este impacto se suma a las otras amenazas que ya presenta la especie (Masden 2009). Como afecta a las aves rapaces dependerá del tamaño del parque Eólico, el espaciamiento entre las turbinas, ya que el diseño de un parque eólico puede aliviar cualquier efecto barrera, por ejemplo permitiendo amplios pasillos entre grupos de turbinas; También el grado de desplazamiento de las aves voladores, y la capacidad para compensar el aumento de gasto energético. Sin embargo, este tema se tiene que estudiar más a fondo.

Siguiendo los análisis realizados llama la atención la diferencia entre la tasa de mortalidad de aves y murciélagos. Resultando el 66% de las colisiones reportadas de murciélago. Según Baerwald y colaboradores (2009) los murciélagos pueden sufrir 10 veces más colisiones que las aves. Y estos impactos resultan más complejos debido a que los murciélagos poseen bajas tasas de reproducción y son especies longevas complicando la recuperación de las poblaciones afectadas.

Esta diferencia en la tasa puede deberse a que los murciélagos son afectados por la altura de las turbinas, ubicación, velocidad del viento (Baerwald et al 2009). Factores diferentes a las aves.

Es interesante notar que las especies de murciélagos que coincidieron en muerte incidental en los tres parques eólicos estudiados son insectívoros. Esto se puede deber al calor generado por los aerogeneradores que atraen a los insectos a volar cerca de las aspas y así mismo a estas especies insectívoras. Si bien, se tiene que estudiar cada especie en específico y el impacto que tendrá en su población, el caso del murciélago *Lasiurus cinereus*, llama la atención. Esta especie de hábitos migratorios y de gran importancia ecológica está siendo impactada no solo en México, sino en las poblaciones de EUA y Canadá, Perú, Chile, Brasil y Uruguay (MCCraket et al., 2008; Arnett et al., 2008; Gordon y Poe 2014; Barros et al 2014; Cabrera-Cruz et al., 2020). Se estima que 1.7 millones de murciélagos han muerto incidentalmente a causa de la energía eólica en EUA y Canadá en sólo 11 años y 196 mil a 400mil murciélagos en el 2012. Los más afectados fueron *Lasiurus cinereus*, *L. borealis* y *Lasionycteris noctivagans* (Arnett y Baerwald 2013) y se calcula que las muertes incidentales cada año están en cientos de miles de individuos de la especie *L. cinereus* en EUA por la energía eólica. Este impacto sólo se suma a las otras

amenazas de la especie como la pérdida de hábitat, deforestación, pesticidas (Kunz et al 1977). Aunque actualmente esta especie no se encuentra en categoría de riesgo no se deben pasar por alto estos impactos. Estamos a tiempo de intervenir y detener la reducción de la población antes que la especie se encuentre en peligro de desaparición.

Las tasas de mortalidad mayores para murciélagos se han reportado cuando la velocidad del viento oscila entre 4.3 y 5.7m/s mientras que en 6 m/s disminuye entre el 93%-100 % (Cryan y Barclay 2009; Atienza et al 2011, Arnett et al 2009, Korner -Nivelgaer et al 2013, Subraanian 2012, baerwald e al 2009). Esto debido a la baja actividad que presentan los insectos y a su vez los murciélagos. Una de las medidas implica en modificar la velocidad de arranque de los aerogeneradores de 4m/s a 5.5m/s. A los 4m/s hay una mayor cantidad de insectos volando y genera muy pocas cantidades de energía (Baerwald y Barclay 2009). Si se siguiera esta medida de mitigación en el arranque de los aerogeneradores, no solo los murciélagos serían beneficiados con una reducción en las muertes incidentales del 93% - 100%, también las aves. Se estima una reducción del 50% de las muertes incidentales de aves aplicando esta medida. Seguir esta medida no tiene un costo monetario elevado, debido a que la mayor parte de la energía se produce con una velocidad de 5,5 m/s en adelante (Baerwald et al 2009). Se calcula una pérdida energética de 0,070 % del total. (Subramainian 2012).

Por otra parte; se puede hacer una aproximación de las mortalidades de los dos estados estudiados con ayuda del cálculo de la AMDEE de la producción de ambos estados, el cual ha reportado en el 2020 que es de 1,715 MW/año para Tamaulipas y 397MW/año para Coahuila, teniendo en total una producción de 2,112 MW/año. Esto, nos da un resultado de 3,325 aves/año y 17,639 murciélagos/año (Tenemos que recordar que no es una cifra real, sino una aproximación). Estas cifras pueden resultar alarmantes, sin embargo son bastante bajas en comparación a otras estructuras como autos antes, edificios y felinos, incluso que el cambio climático, que si sigue el curso actual se estima que el 37% de las especies de aves y el 68% de murciélagos están condenadas a la extinción en el 2050 (Edkins 2008; Subramanian 2012).

## **Conclusiones**

Con el crecimiento acelerado de la industria eólica, es importante que los efectos de los proyectos se analicen en conjunto y no solo deben limitarse a la evaluación con otros parques eólicos sino también con actividades de diferentes índoles que estén en desarrollo o en funcionamiento y puedan afectar a las mismas especies.

Actualmente el estudio de los impactos de los parques eólicos en nuestro país está limitado por conocimiento básicos de la dinámica de poblaciones en un proyecto, y la falta de normas nacionales estandarizadas para la metodología de evaluación en las diferentes etapas del desarrollo de los parques eólicos e impactos en la fauna silvestre. A esto se suma la falta de antecedentes de estudios sobre la mayoría de las especies locales que incluyan distribución geográfica, rutas migratorias, estatus de conservación (entre otros) y la falta de datos recabados por los parques eólicos; Es de vital importancia que se abra al público esta información y se estudien y comprendan como se acumulan los efectos, cuáles son los umbrales ecológicos, y en qué momento son superados para minimizar los efectos de la energía eólica en los vertebrados voladores.

## Literatura citada

Ahlén I (2004) Wind turbines and bats—a pilot study. Report prepared for the Swedish National Energy Administration [http://www.eurobats.org/documents/pdf/AC9/Doc\\_AC9\\_14\\_Wind\\_turbines\\_pilot\\_study.pdf](http://www.eurobats.org/documents/pdf/AC9/Doc_AC9_14_Wind_turbines_pilot_study.pdf)> (Accessed 01 Diciembre 2021)

AMDEE Energía Eólica, A. M. (2015). El potencial eólico mexicano. Oportunidades y retos en el nuevo sector eléctrico.

AMDEE, 2018. Asociación Mexicana de Energía Eólica. Sala de prensa (online) Disponible en: <https://amdee.org/sala-de-prensa.html#noticias>. Consultado el 03 de Octubre del 2020.

AMDEE, 2019. Asociación Mexicana de Energía Eólica. Sala de prensa (online) Disponible en: <https://amdee.org/sala-de-prensa.html#noticias> Consultado el 03 de Octubre del 2002 American Wind Energy Association. 2009. Benefits of wind: Wind's Environmental Records. Online. Disponible en <http://awea.org>

Arnett, E.B., Brown, K., Erickson, W.P., Fiedler, F., Hamilton, B.L., Henry, T.H., Jain, A., Johnson, G.D., Kerns, J., Koford, R.R., Nicholson, C.P., O'Connell, T., Piorkowski, M. y Tankersley, R. 2008. Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. *Journal of Wildlife Management* 72(1):61-78.

Asociación Empresarial Eólica, 2019 Transición energética: Evaluación ambiental estratégica del PNIEC. Análisis de los efectos ambientales previsibles de los objetivos del sector eólico establecidos en el plan nacional Integrado energía y clima 20121-2030 España.

Atienza, J.C., I. Martín Fierro, O. Infante y J.Valls. 2008. Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 1.0). SEO/BirdLife, Madrid.

Barbosa L. O. 2013 Calentamiento Global: “La máxima expresión de la civilización petro-fósil” Revista de CESLA, (16), 35-68 Consultado el 2 de octubre del 2020. ISSN: 1641-4713. Disponible en <https://www.redalyc.org>

Barclay, R. M. R., y Harder L.D. 2003 Life histories of bats: life in the slow lane. Pp 2009-253 in T.H. Kunz y M.B. Fenton, Editors Bats Ecology University of Chicago Press, Chicago Illinois, USA

Barros, M. A., de Magalhães, R. G., & Rui, A. M. (2015). Species composition and mortality of bats at the Osório Wind Farm, southern Brazil. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 50(1), 31-39.

Benjamín J.A. y Masera O. 2011. Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques*, 7(1), 3-12 Fecha de consulta: 2 de octubre 2020. ISSN: 1405-0471. Disponible en: <https://www.redalyc.org>

Bildstein, K.L. 2006. Migrating raptors of the world, their ecology and conservation. Cornell University Press, Ithaca, Nueva York.

Briones-Salas M. y Martín-Regalado. 2016. Murciélagos en los alrededores de los parques eólicos del Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. *Bol. Red. Cons. Murc.* Vol 7/Nº1 Enero-Abril.

Caldera E., Saldaña R. 1986, Evaluación preliminar del potencial de generación eléctrica en la zona de La Ventosa Oaxaca. Informe FE/01/14/2063/I-01/P Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Caldera M. E. 2006. Investigación y Desarrollo de la energía eólica en México. Asociación nacional de energía solar México, D.F. ISBN: 968-5219-06-0

Cañas Delgado, J., Marín Vallejo, J. C., Barroso Caro, A., & París Carballo, F. (1999). Sobre el uso de modelos de resistencia de materiales y modelos de elementos finitos en el diseño de palas de aerogenerador. *MATCOMP*, 99 (1999), p 271-278.

Castillo E. J. (2011). Problemática en torno a la construcción de parques eólicos en el istmo de Tehuantepec. *Revista Desarrollo local sostenible*, 4(12).

Cavallo, A.J., Hock, S.M., Smith, D.R. (1993). *Wind Energy: technology and economics*. Washington D.C.: Island Press. Centro de Investigación De Energía, UNAM 2011. Observatorio de Energías Renovables en América Latina y el Caribe. México Informe Final Producto 3: Mecanismos financieros. Disponible: [https://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/Mexico\\_Producto\\_3\\_Esp02.pdf](https://www.renenergyobservatory.org/uploads/media/Mexico_Producto_3_Esp02.pdf).

Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) 2015. Impacto socioeconómico de los Desastres en México durante el 2014; Datos de emisiones de GEI en México. Disponible en línea: <https://imco.org.mx/>

Cervantes-Zamora, Y., Cornejo-Olgín, S. L., Lucero-Márquez, R., Espinoza-Rodríguez, J.M., Miranda-Viquez, E. y Pineda-Velázquez, A, (1990) Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Clancy, J. S., Hulscher, W. (Ed.), Hulscher, W. S., Hulscher, W. S., & Fraenkel, P. (Ed.) (1994). *The Power Guide: An international catalogue of small-scale energy equipment*. London: IT Publications

Cobreiro, P., & Jiménez, N. 2014. Aerogeneradores (I): funcionamiento y marco normativo de prevención de riesgos labores. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1-6.

COCN, Donázar, J. A., Carrete, M., de la Riva, M.J. y Sánchez Azpata, J.A. 2008. Muertes de alimoche en parques eólicos del estrecho de Gibraltar. *Quercus*, 273: 60-61

Comisión Reguladora de Energía 2018. CRE: 25 años desarrollando y fortaleciendo la autonomía regulatoria. Gobierno de México Online. Disponible en: <https://www.gob.mx/cre/prensa>

CONABIO. 2006. Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

Contreras-Balderas, A. J., González-Rojas, J. I., García-Salas, J. A. y Ruvalcaba-Ortega, I. 2008. Nuevo León. En Ortiz-Pulido, R., Navarro-Sigüenza, A., Gómez de Silva, H., Rojas-Soto, O. y Peterson, A. T. (Eds.), Avifaunas Estatales de México. CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México. Pp. 165-198. ISSN: 1870-7777 (18) (PDF) Avifaunas Estatales de México, Nuevo León.

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

Dalquest, W. W., & Roth, E. (1970). Late Pleistocene mammals from a cave in Tamaulipas, Mexico. *The Southwestern Naturalist*, 217-230.

Del Campo-Márquez, C. M., Nelson-Edelstein, P. F., & García-Vázquez, M. Á. (2009). La energía del viento en México: Simulación de un parque eólico y aplicación de análisis probabilístico de seguridad. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 10(4), 343-352

Del Moral, J. D. 2009. El buitre leonado en España. Población reproductora en 2008 y método de censo. *Madrid, Spain: SEO/BirdLife*.

Department of justices, 2013, Office of Public Affairs: Utility Company Sentenced in Wyoming for killing protected birds at wind projects. EUA. Disponible en línea: <https://www.justice.gov/opa/pr/utility-company-sentenced-wyoming-killing-protected-birds-wind-projects> consultado en Octubre 04

Diario Oficial de la Federación 2013. Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAFATERTE). *Congr. la Unión*, 1-16. Disponible en: <https://www.cre.gob.mx//documento/3870.pdf>

Diario Oficial de la Federación 2014. Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión, Secretaría de servicios Parlamentarios.

Ley abrogada DOF 11 agosto 2014. Online. Disponible en:  
[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/lspee/LSPEE\\_abro.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/lspee/LSPEE_abro.pdf)

Drewitt A, Langston R. 2006 Assessing the impacts of the wind farms on birds; Vol. 148, S1

Do Amaral, I. S., Pereira, M. J. R., Mader, A., Ferraz, M. R., Pereira, J. B., & De Oliveira, L. R. (2020). Wind farm bat fatalities in southern Brazil: temporal patterns and influence of environmental factors. *Hystrix*, 31(1), 40.

Eólica de Coahuila, S. A. de. C. V. 2014. Estudio de Impacto Ambiental Parque Eólico de Coahuila.

Erickson, W. P., M. M. Wolfe, K. J. Bay, D. H. Johnson, and J. L. Gehring (2014). A comprehensive analysis of small-passerine fatalities from collision with turbines at wind energy facilities. *PLOS One* 9:e107491. doi:10.1371/journal.pone.0107491

Escobar, Luis E, Juárez, César, Medina-Vogel, Gonzalo, y González, Carlos M. 2015. First Report on Bat Mortalities on Wind Farms in Chile. *Gayana (Concepción)*, 79(1), 11-17. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-65382015000100003> European Wind Energy Association. (2011). Pure power-wind energy targets for 2020 and 2030. Ewea.

Frick, W. F., Baerwald, E. F., Pollock, J. F., Barclay, R. M., Szymanski, J. A., Weller, T. J., y McGuire, L. P. (2017). Fatalities at wind turbines may threaten population viability of a migratory bat. *Biological Conservation*, 209, 172-177.

---

F. Baerwald, Genevieve H. D'Amours, Brandon J. Klug, and Robert M.R. Barclay De 75 murciélagos con necropsias, todos son reportados con heridas internas y hemorragias. Ferguson-Lees J & Christie DA (2005) *Raptors of the World*. Princeton University Press, New Jersey

Foster, R. E., & Cota, A. D. (2005). Two decades of PV lessons learned in Latin America. In Solar World Congress, International Solar Energy Society, Orlando, Florida (Vol. 11).

Garza de León, A., Morán, I., Valdés, F. y Tinajero, R. 2007. COAHUILA. En Ortiz-Pulido, R., Navarro-Sigüenza, A., Gómez de Silva, H., Rojas-Soto, O. y Peterson, T.A. (Eds.), Avifaunas Estatales de México. CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México. Pp. 98-136.

González Saldívar, F. N., Cantú Ayala, C. M., Uvalle Saucedo, J. I., & Herrera Fernández, B. (2018). Situación actual de la fauna silvestre en las cuencas de Nuevo León, México. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(50), 223-250.

---

Gordon, C. y Poe, C. 2014. Anexo 5.3. Evaluación de riesgo para aves, murciélagos y mariposas monarca del Parque de Energía Eólica de Coahuila. Coahuila, México.

Handley, C. O., Jr. 1976. Mammals of the Smithsonian Venezuelan Project. *Brigham Young University Science Bulletin Biological Series* 20:1–89

Hernández Cienfuegos, C. A. (2005). Hábitos Alimentarios del Murciélago Mexicano de Cola Libre Tadarida Brasiliensis Mexicana (Saussure, 1860) de la Cueva de la Boca, Santiago, NL y su Posible Aportación en el Control de Plagas de la Región-Edición Única.

Horn JW, Arnett EB, Kunz TH (2008) Behavioural responses of bats to operating wind turbines. *J Wildl Manage* 72(123):132

IIE. (2010). "Explorador de Recursos Renovables." Obtenido el 10 de enero de 2011, de la página <http://sag01.iie.org.mx/eolicosolar/Default.aspx>.

INEGI 2017. Anuario estadístico y geográfico de Nuevo León Mexico 614p

INEGI 2018. Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa- Mexico 639p

INEGI. 1998 Dirección General de Geografía y Medio Ambiente. Superficie Continental e insular del territorio Nacional

INEGI. 2017. Anuario estadístico y geográfico de Coahuila de Zaragoza. Disponible en línea en: [https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF\\_Docs/COAH\\_ANUARIO\\_PDF.pdf](https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF_Docs/COAH_ANUARIO_PDF.pdf)  
Consultado en Noviembre 13 2020

INEGI. Marco Geoestadístico, junio 2020

Jain, A.A. 2005. Bird and bat behavior and mortality at a northern Iowa windfarm. Thesis. Iowa State University, Ames, Iowa

Jaramillo-Salgado, O. A., Borja-Díaz, O. A. (2010). Energía del viento. *Revista Ciencia*, 61(2), 18- 29.

Jiménez-Guzmán, A., M. A. Zuñiga-Ramos, y J. A. Niño-Ramírez. 1999. Mamíferos de Nuevo León, México. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México

Johnson G, Kunz T (2004) Bat ecology related to wind development and lessons learned about impacts on bats from wind development. *Proceedings of the Wind Energy and Bird/Bats Workshop*, pp 46–56

Johnson, G. D., Erickson, W. P., Strickland, M. D., Shepherd, M. F., Shepherd, D. A., & Sarappo, S. A. (2002). Collision mortality of local and migrant birds at a large-scale wind-power development on Buffalo Ridge, Minnesota. *Wildlife Society Bulletin*, 879-887.

Johnson, G. D., W. P. Erickson, M. D. Strickland, M. F. Shepherd, and D. A. Shepherd. 2000. Avian Monitoring Studies at the Buffalo Ridge Wind Resource Area, Minnesota: Results of a 4-Year Study. Final report prepared for Northern States Power Company, Minneapolis, Minnesota, by Western EcoSystems Technology, Inc. (WEST), Cheyenne, Wyoming. September 22, 2000. 212 pp. <http://www.west-inc.com>

Jones Jr, J. K., Smith, J. D., & Genoways, H. H. (1973). Annotated checklist of mammals of the Yucatan Peninsula, Mexico. I. Chiroptera.

Juárez-Hernández, S., & León, G. (2014). Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social. *Problemas del desarrollo*, 45(178), 139-162.

Kerns, J. and P. Kerlinger. 2004. A Study of Bird and Bat Collisions at the Mountaineer Wind Energy Facility, Tucker County, West Virginia: Annual Report for 2003. Prepared for FPL Energy and the Mountaineer Wind Energy Center Technical Review Committee. February 14, 2004. Technical report prepared by Curry and Kerlinger, LLC., for FPL Energy and Mountaineer Wind Energy Center Technical Review Committee. Curry and Kerlinger, LLC. 39 pp. <http://www.wvhighlands.org/Birds/MountaineerFinalAvianRpt-%203-15-04PKJK.pdf>

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 need, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and Environment* 5(6):315-324

Ledec, G.C., R.W. Kennan, R.G., Aiello. 2011. Greening the wind: environmental and social considerations for wind power development. A World Bank study. World Bank. Washington, DC., EUA. doi: <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8926-3>.

López-González, C., & Best, T. L. (1999). Current status of wintering sites of Mexican free-tailed bats *Tadarida brasiliensis mexicana* (Chiroptera: Molossidae) from Carlsbad Cavern, New Mexico. *Dimensions*, 2, 4.

Lujambio I.J. 2013. La comisión reguladora de energía en las reformas energéticas de 2008 y 2013. Centro de investigación para el desarrollo A.C CIDAC Disponible en: <http://www.cidac.org> <http://reddecompetencia.cidac.org>

Manville II, A. M. (2005). Bird strike and electrocutions at power lines, communication towers, and wind turbines: state of the art and state of the science-next steps toward

mitigation. In In: Ralph, C. John; Rich, Terrell D., editors 2005. Bird Conservation Implementation and Integration in the Americas: Proceedings of the Third International Partners in Flight Conference. 2002 March 20-24; Asilomar, California, Volume 2 Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-191. Albany, CA: US Dept. of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station: p. 1051-1064 (Vol. 191).

Manwell J.F. y Macgowan J.G 2009. Wind energy explained, Theory Design and application. Second edición. Editorial Wiley pp 677 ISBN:978-0-0470-01500-1

Mares, M. A., J. K. Braun, y D. Gettinger. 1989. Observations on the distribution and ecology of the mammals of the cerrado grasslands of central Brazil. *Annals of the Carnegie Museum* 58:1–60.

Mendoza Uribe, Indalecio Valoración del viento como fuente de energía eólica en el estado de Guerrero Ingeniería, vol. 22, núm. 3, 2018, septiembre-, pp. 30-46 Universidad Autónoma de Yucatán México

Moorman, C. E., Grodsky, S. M., & Rupp, S. (2019). *Renewable energy and wildlife conservation*. JHU Press.

Navarro-Sigüenza, A. G., Rebón-Gallardo, M. F., Gordillo-Martínez, A., Peterson, A. T., Berlanga-García, H., & Sánchez-González, L. A. (2014). Biodiversidad de aves en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85, 476-495.

Nicholls B, Racey PA (2007) Bats avoid radar installations: could electromagnetic fields deter bats from colliding with wind turbines? *PloS One* 2:1–7

Núñez, A., Chávez, T. C. B., & Sánchez, C. (1980). *Mamíferos silvestres de la región de El Tuito, Jalisco, México*.

Observatorio de la sustentabilidad de Nuevo León. OSNL 2020 Vegetación natural y uso de suelo <http://observatorio.iinso.uanl.mx/index.php/diagnostico/diagnostico-01/diagnostico-0102?showall=1&limitstart=>

Ortiz-Pulido, R. 2018. ¿Qué especies de aves están en riesgo en México?. *Huitzil*, 19(2), 237- 272

Osmani, A., Zhang, J., Gonela, V. & Awudu, I. (2013). Electricity generation from renewables in the United States: Resource potential, current usage, technical status, challenges, strategies, policies and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 454-472.

Palmer, R., Gordon, C., & Petracci, P. 2017 Interacciones entre la Fauna Silvestre y la Energía Eólica en Argentina: Conocimiento Científico y Prioridades para el Futuro.

Percival. (2006). Birds and windfarms: what are the real issues?. *British Birds*, 99(1), 45.

Petersen, I. K., Christensen, T. K., Kahlert, J., Desholm, M., & Fox, A. D. (2006). Final results of bird studies at the offshore wind farms at Nysted and Horns Rev. *Denmark. commissioned by DONG energy and Vattenfall A/S NERI/ministry of environment NERI Report*, (161).

PNUMA. 2001. Informe anual de evaluación. Dependencia de Evaluación y Supervisión. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Disponible en [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/286/PNUMA\\_Informe\\_Anual\\_de\\_Evaluaci%  
c3%b3n\\_2001.ES.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/286/PNUMA_Informe_Anual_de_Evaluaci%c3%b3n_2001.ES.pdf?sequence=3&isAllowed=y) Consultado el 29 Septiembre 2020

Regueiro, R.M. 2011 Las implicaciones ambientales del proceso de implantación de los parques eólicos: la situación en Galicia Rosa María. Universidad de Santiago de Compostela Revista Galega de Economía, vol. 20, núm. 1 ISSN 1132-2799 1

Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico. 2020 México y su gran potencial de energía eólica. Online: Disponible en: <https://www.evwind.com/2020/07/01/mexico-y-su-gran-potencial-de-energia-eolica/>

Rodrigues L, Bach L, Biraschi L, Dubourg-Savage MJ, Goodwin J, Harbusch C, Hutson T, Invanova T, Lutsar L, Parsons K (2006) Wind turbines and bats: guidelines for the planning process and impact assessments. Eurobats Resolution 5.6, pp 51–73

Rodriguez R. E. R. y A. Banda V. 2015. Guía de aves de la Reserva de la Biosfera El Cielo. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Tamaulipas. Prograf. Primera edición. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. 266 páginas.

Rodriguez-Ruíz, E. R. R., y Garza- Torres, H. A. G. (2017). Aves del Estado de Tamaulipas, México: Una prioridad para la conservación. Editorial Académica Española.

Rudnick Van de Wyngard, H. (2006). Seguridad energética en Chile: dilemas, oportunidades y peligros.

---

Ruelas I., E., L. J. Goodrich & S. W. Hoffman. 2010. Changes in migratory raptor populations in Veracruz, Mexico, 1995-2005. *Acta Zool. Mex.* (n. s.), 26(3): 495-525.

Ruelas I., E., L.J. Goodrich, S.W. Hoffman, & R.Tingay. 2000. Conservation strategies for the World's largest raptor migration flyway: Veracruz, the River of Raptors. Pp. 591-596. In R.D. Chancellor, & B.-U. Meyburg (eds). *Raptors at Risk*. Hancock House Publishers, Surrey, B.C., Canadá

Saidur, R., Rahim, N. A., Islam, M. R., & Solangi, K. H. (2011). Environmental impact of wind energy. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(5), 2423-2430.

Schreiber, A., Marx, J., & Zapp, P. (2019). Comparative life cycle assessment of electricity generation by different wind turbine types. *Journal of cleaner production*, 233, 561-572.

Secretaría de gobernación. 2015. La energía eólica en México: Una perspectiva social sobre el valor de la tierra. Fecha de consulta 5 de octubre del 2020. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31621/eolico.pdf>

SEMARNAT 2009. Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. Secretaria del

ambiente y recursos Naturales, Centro de educación y capacitación para el desarrollo Sustentable, México. ISBN: 978-607-7908-20-3

Smallwood KS. 2013. Comparing bird and bat fatality-rate estimates among North American wind-energy projects. *Wildlife Society Bulletin* 37: 19–33

Snyder, H. A., & Glinski, R. L. (1988). Zone-tailed Hawk. In *Proceedings of the Southwest Raptor Management Symposium and Workshop. Scientific Technical Series* (No. 11, pp. 105-110).

Soriano V. 2011 *Sistemas de generación eólica. Capítulo 1 La energía eólica. UNAM* pp.13-19

Subramanian M. 2012. The trouble with turbines: An ill wind. *Nature International weekly journal of science. Volumen 486 Issue 7403. Disponible en línea: <https://www.nature.com/news/the-trouble-with-turbines-an-ill-wind-1.10849> consultado en Octubre 12*

Thelander, C. G., & Smallwood, S. (2009). Altamont Pass: Un ejemplo de los efectos de los parques eólicos sobre las aves. *Aves y Parques Eólicos (Pag. 291)*, 25-48.

Uribe-Rivera, M.A., A.A. Guevara-Carrizales, G. Ruiz-Campos. 2018. Mortalidad incidental de aves paseriformes en un parque eólico del noroeste de México. *Huitzil* 20(1):e-487. doi: <https://doi.org/10.28947/hrmo.2019.20.1.377>.

USAID. 2009. *Elementos para la promoción de la energía Eólica en México. Producción limpia y energía renovable. Agencia de los estados Unidos para el Desarrollo Internacional. PA Government Service INC.*

Villegas-Patracá R, S. A. Cabrera-Cruz y L. Herrera-Alsina. 2014. Soaring Migratory Birds Avoid Wind Farm in the Isthmus of Tehuantepec, Southern Mexico. *PLOS ONE* 9(3): e92462. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092462>

Zamora, M., E.L. Sánchez, A.A. Lambert – Arista. 2010. Recurso Eólico en Baja California. *Revista Digital Universitaria* 11(2):6-8

Zárate Toledo, E., & Fraga, J. (2016). La política eólica mexicana: Controversias sociales y ambientales debido a su implantación territorial. Estudios de caso en Oaxaca y Yucatán. *Trace* (México, DF), (69), 65-95

---