

Modelos de riesgo de colisión: una herramienta para evaluar los riesgos para las aves rapaces en instalaciones de energía eólica

En enero de 2022, la tarea eólica 34 de la Agencia Internacional de Energía, "Trabajando juntos para resolver los efectos ambientales de la energía eólica (WREN)", organizó un foro para analizar los riesgos de colisión de aves rapaces con aerogeneradores. El foro incluyó a expertos en biología y fisiología de aves rapaces, modelos de riesgo de colisión, desarrollo de energía eólica, y científicos atmosféricos de siete países. Representaron a una variedad de grupos de partes interesadas internacionales, incluidos académicos, agencias gubernamentales, laboratorios nacionales y consultores de vida silvestre. Este resumen educativo incluye las conversaciones presentadas en el foro y los comentarios escritos de aquellos que no pudieron asistir. Se utilizó literatura relevante que sirviera de contexto adicional cuando era necesario.

INTRODUCCIÓN

Para varias especies de aves rapaces, como el águila real (*Aquila chrysaetos*), el buitre leonado (*Gyps fulvus*) y el águila de cola blanca (*Haliaeetus albicilla*), el riesgo de colisión con aerogeneradores sigue siendo una preocupación entre las partes interesadas. Estas preocupaciones incluyen el impacto potencial en la población relacionado con colisiones, el cumplimiento de los mecanismos regulatorios para las especies protegidas y la capacidad de generar energía renovable. Para tomar decisiones operativas y de emplazamiento, las partes interesadas requieren cierto nivel de certeza del riesgo asociado con un proyecto propuesto. Para comprender este riesgo, en parte, se requiere datos específicos de las especies de aves rapaces y cómo estas perciben e interactúan con parques eólicos o aerogeneradores individuales. Los modelos de riesgo de colisión (CRM, por sus siglas en inglés) son una herramienta, a menudo utilizada en evaluaciones de impacto ambiental, que puede proporcionar estimaciones de riesgos relacionados con aerogeneradores específicos o un parque eólico completo. Sin embargo, todavía hay preguntas asociadas con la incertidumbre en las estimaciones de CRM.

COMPORTAMIENTO DE VUELO Y FISIOLÓGIA DE LAS AVES RAPACES

Algunas especies de aves rapaces tienen rasgos fisiológicos o de comportamiento que las hacen más susceptibles a sufrir colisiones con aerogeneradores. Comprender estos rasgos mejorará los CRM y nuestra comprensión general de los eventos de colisión. Por ejemplo, conocer la posición de la cabeza (es decir, mirar hacia adelante o mirar hacia abajo) y el movimiento de los ojos de un ave rapaz en vuelo puede proporcionar información sobre algunos eventos de colisión. Las investigaciones muestran que las aves tienen puntos ciegos delante y encima de la cabeza cuando se inclinan hacia abajo. Por lo tanto, un ave que vuela hacia un parque eólico, o en su interior, con la cabeza inclinada hacia abajo podría no ver los aerogeneradores directamente frente a él. Los datos también muestran que las especies mueven los ojos durante el vuelo para aumentar su percepción del entorno circundante. Tanto el tamaño de los puntos ciegos como la frecuencia del movimiento de los ojos varían entre especies. Por ejemplo, las águilas reales tienen puntos ciegos más grandes y mueven los



Águila real se lanza desde una plataforma cerca de aerogeneradores.
Foto de Dennis Schroeder, Laboratorio Nacional de Energías Renovables

ojos con menos frecuencia que las águilas calvas (*Haliaeetus leucocephalus*). Las especies con puntos ciegos más grandes y menos movimientos oculares pueden ser más vulnerables a las colisiones.

No está claro con qué frecuencia las aves rapaces cambian la posición de la cabeza o mueven los ojos durante el vuelo, pero estos movimientos podrían estar relacionados con la disponibilidad de presas y la presencia de otras aves. Un área con alta disponibilidad de presas puede aumentar el tiempo que un ave rapaz se concentra en el suelo en lugar de mirar adelante. Por lo tanto, la densidad de presas puede ser un indicador temprano de riesgo para un parque eólico propuesto. La presencia de aves competidoras u otras especies de aves (p. ej., aquellas que muestran un comportamiento de acoso hacia aves rapaces) también puede afectar si un individuo es consciente de su entorno o muestra comportamientos agresivos o evasivos que podrían conducir a un riesgo. Las interacciones con otras especies pueden ser difíciles de cuantificar en un sitio propuesto, pero podría ser posible evaluar el estado de alerta o conciencia de las distintas aves rapaces en condiciones naturales o ambientes controlados a fin de determinar la utilidad de esta información para predecir el riesgo de colisión.

Los cambios estacionales en el comportamiento de vuelo también pueden contribuir al riesgo. Las aves rapaces suelen aprovechar las corrientes ascendentes para ganar sustentación. Las corrientes ascendentes pueden generarse por el aumento de las temperaturas (corrientes ascendentes térmicas) o por las características del paisaje (corrientes ascendentes orográficas), las cuales permiten que un individuo alcance una mayor altura sin gastar energía. Las corrientes ascendentes térmicas son más comunes durante el verano y se generan cuando el aire cerca del suelo se calienta y asciende. Las corrientes ascendentes orográficas se generan cuando un aumento pronunciado en la pendiente (p. ej., una colina o una cresta) desvía el viento hacia arriba. Las aves rapaces generalmente utilizan las corrientes ascendentes orográficas durante el otoño, el invierno y la primavera cuando hay menos corrientes ascendentes térmicas. Debido a que los parques eólicos pueden ubicarse a lo largo de cordilleras para propiciar condiciones de viento favorables, estos sitios pueden aumentar las interacciones si las aves rapaces utilizan las cordilleras para alcanzar mayores altitudes durante ciertas épocas del año (p. ej., durante la migración).

Otros factores también pueden influir en el uso de ciertas características del hábitat o de condiciones del paisaje. La identificación temprana de estos factores puede reducir el riesgo. Por ejemplo, los sitios de anidación adecuados son áreas de alto uso que a menudo exigen el retroceso de cualquier desarrollo. Las distancias de retroceso actuales a menudo se basan en la opinión de expertos, pero estas distancias pueden no ser apropiadas o necesarias. Refinar los datos relacionados con el uso del hábitat puede mejorar las distancias de retroceso para reducir el riesgo.

Las investigaciones sobre las capacidades auditivas y visuales de las aves rapaces pueden contribuir a las estrategias de minimización de riesgos. Conocer el rango de audición óptimo y los patrones de frecuencia a los que responden las aves rapaces puede ayudar en el desarrollo de tecnologías auditivas que disuadan a las aves rapaces de acercarse a los aerogeneradores. Del mismo modo, comprender cómo responden las aves rapaces a la luz y el color visibles podría ayudar a que los aerogeneradores sean más visibles, lo que podría aumentar los comportamientos de evasión de las aves rapaces cerca de los aerogeneradores. Si bien la evasión puede reducir la mortalidad directa por colisiones,

este comportamiento también puede estar asociado con una pérdida de hábitat y acceso a los recursos, lo que puede afectar negativamente a las poblaciones de aves rapaces, especialmente si el comportamiento de evasión se observa en áreas más grandes.

¿QUÉ SON LOS MODELOS DE RIESGO DE COLISIÓN Y CÓMO SE UTILIZAN?

Los CRM calculan la probabilidad de que ocurra una colisión dado un conjunto de características específicas del parque eólico (p. ej., disposición y número de aerogeneradores), los aerogeneradores (p. ej., tamaño del aerogenerador y velocidad del rotor; Figura 1) y las especies de interés (p. ej., tamaño del cuerpo y velocidad de vuelo). Hay varios CRM disponibles, y el correcto a utilizar puede depender del conjunto único de circunstancias del parque eólico y las especies que se sabe que se encuentran en el área. En otras palabras, un CRM que funciona bien en un parque eólico puede no funcionar en otro.

Los CRM pueden servir para predecir el riesgo a diferentes escalas espaciales, como en todo el parque eólico, una serie de aerogeneradores, o uno solo. Los CRM también se pueden desarrollar en diferentes épocas del año, como durante la migración o la temporada de reproducción de verano. Además, los CRM pueden evaluar el riesgo en un parque eólico existente, brindando información sobre cuándo y por qué ocurren las colisiones. Por lo tanto, dependiendo de su uso, los CRM pueden ayudar a informar las medidas de mitigación, como evitar áreas donde el riesgo es relativamente mayor, cambiar las operaciones del aerogenerador durante los períodos de alto riesgo o gestionar el hábitat o las especies de presas para reducir el riesgo o alejar a los individuos de un parque eólico a una zona más favorable.

DESAFÍOS CON LOS MODELOS DE RIESGO DE COLISIÓN

A pesar de su potencial, los CRM tienen varias limitaciones o sesgos. Algunos modelos son sensibles a ciertos parámetros, como la tasa de evasión, lo que significa que la estimación de las colisiones puede cambiar drásticamente con solo pequeñas



Figura 1. Parámetros que se utilizan a menudo en los modelos de riesgo de colisión. Gráfico del Laboratorio Nacional de Energías Renovables; modificado de Cook y Masden 2019



Los modelos podrían ayudar a reducir el riesgo de colisión de buitres leonados, como este. Foto de iStock 1078410696

variaciones en los datos de entrada. Ciertos modelos superan esta sensibilidad al incorporar incertidumbre en lugar de una estimación puntual, mientras que otros modelos pueden optar por utilizar parámetros alternativos menos sensibles. Por ejemplo, el modelo Hammer de riesgo de colisión considera una comprensión más matizada del ángulo de aproximación del vuelo, pero excluye todo parámetro de evasión. La incertidumbre del modelo y la deficiencia de datos representan otras dos limitaciones. Para muchas especies, es posible que los datos de entrada necesarios falten, ya que es demasiado difícil o costoso recopilarlos. En los casos en que no existan datos de entrada para una especie de interés, se pueden utilizar especies sustitutas. Sin embargo, las diferencias entre las especies de interés y las especies sustitutas, como el comportamiento, el tamaño del cuerpo y las características del vuelo, aumentarán la incertidumbre en el modelo.

El interés en la consistencia y la comparabilidad entre sitios puede ser un desafío para el uso de CRM. Dado que actualmente no existe un modelo universal, es posible que los requisitos para utilizar un CRM específico para una empresa, agencia o especie no den el mejor resultado. Más bien, el uso de un CRM que contemple las variables específicas del sitio y de la especie mejorará el rendimiento del modelo y ayudará a cumplir los objetivos del proyecto. Muchos modelos requieren información específica del sitio sobre la actividad de las aves, la composición de especies y la abundancia de especies a través de encuestas prácticas de uso de aves en parcelas de radio fijo. El tipo y la cantidad de datos necesarios para la caracterización precisa del sitio varían según una variedad de especies y factores espaciales y temporales. Por ejemplo, las aves que migran a través de un paisaje uniforme pueden requerir menos datos que un área de forrajeo conocida con una topografía compleja.

Si bien existe un esfuerzo conjunto para mejorar la entrada de datos para que los CRM aumenten sus capacidades predictivas y reduzcan la incertidumbre, existen datos limitados sobre la validación del modelo. La mayoría de los estudios informan sobre los resultados de un CRM, pero rara vez se complementan con estudios de campo para evaluar el rendimiento del modelo. Los estudios de validación del modelo requieren comparar la mortalidad estimada, predicha por el modelo, con la mortalidad real recopilada durante el monitoreo estándar de la mortalidad, realizado después de la construcción. Los CRM con un marco bayesiano pueden incorporar datos de mortalidad posteriores a la construcción, recopilados adecuadamente y si están disponibles, para reducir la incertidumbre y aumentar la precisión de los parámetros de probabilidad de colisión.

MEJORA DE LOS PARÁMETROS DE COMPORTAMIENTO CLAVE PARA LOS MODELOS DE RIESGO DE COLISIÓN

Varios parámetros en los CRM son fáciles de cuantificar, como la longitud de la pala y la velocidad del rotor de un aerogenerador, o la envergadura y la longitud del cuerpo de una especie de ave. Las características de comportamiento, como la velocidad de vuelo y la evasión, pueden ser difíciles de obtener y a menudo son desconocidas para la mayoría de las especies de aves. Los CRM también tienden a ser sensibles a estos parámetros de comportamiento; por lo tanto, la mayor parte de la investigación para mejorar las estimaciones de los modelos y reducir la incertidumbre se centra en el comportamiento de las aves.

La velocidad de vuelo puede variar según el comportamiento del ave, que puede verse influenciado por la hora del día, la velocidad del viento y el hábitat. La velocidad a la que se mueve un ave al interactuar con un aerogenerador, como durante los desplazamientos o el forrajeo, influirá en el CRM. La recopilación de datos de velocidad de vuelo ha sido un desafío, pero los avances en tecnología como el radar y el seguimiento por radio han mejorado nuestra capacidad para cuantificar la velocidad de vuelo con mayor precisión. Una mayor certeza en este parámetro puede resultar en cambios sustanciales en los CRM, ya que un estudio mostró una disminución del 10 % al 16 % en las colisiones previstas con datos de velocidad de vuelo mejorados.

Otro parámetro de comportamiento común es la evasión, o la tasa de aves que realizan acciones evasivas para evitar chocar con un aerogenerador. Por ejemplo, una tasa de evasión del 99 % indica que se espera que el 99 % de las aves eviten una colisión. La evasión es difícil de cuantificar y requiere la observación directa de las interacciones de las especies con las estructuras hechas por el hombre. Históricamente, las tasas de evasión se realizaron en condiciones de buena visibilidad (es decir, durante el día y con tiempo despejado), pero es probable que este comportamiento dependa del tiempo, la hora del día y la estación. Las tecnologías de detección remota (p. ej., radares y cámaras infrarrojas) pueden ofrecer un medio para recopilar datos de tasa de evasión durante los momentos en que las observaciones visuales no son posibles.

TECNOLOGÍAS PARA CUANTIFICAR Y REDUCIR EL RIESGO

Las observaciones visuales de las aves rapaces brindan una gran cantidad de información sobre la ubicación de nidos, el comportamiento de vuelo y los patrones de movimiento. Las tecnologías de detección remota pueden ampliar aún más nuestra comprensión de las interacciones de las aves rapaces con los parques eólicos y los aerogeneradores. Para comprender mejor el momento y las condiciones de las colisiones, actualmente se desarrolla y valida tecnología de sensores instalables en palas de aerogeneradores. Los sensores de colisión ofrecen la capacidad de conocer el momento específico de los eventos de colisión. El momento de una colisión, junto con datos temporales, espaciales, operativos y meteorológicos, puede informar a los investigadores sobre las circunstancias en que ocurren estos eventos. La combinación de sensores de colisión con cámaras de video puede proporcionar información específica de cada especie, misma que se puede usar para mejorar la precisión de los CRM.

Los sistemas de cámaras pueden registrar el comportamiento de vuelo de las aves rapaces y las interacciones con los aerogeneradores para ayudarnos a comprender el comportamiento de evitación. Con respecto a la reducción del riesgo, las cámaras se pueden combinar con tecnologías disuasorias para iniciar un sonido de alerta cuando una rapaz se acerca a un aerogenerador. Las cámaras también se pueden usar para informar estrategias de limitación de movimiento, de modo que solo se limite el movimiento de los aerogeneradores cuando haya un ave rapaz cerca.

Varias tecnologías, como el radar, el lidar, la radiotelemetría y las etiquetas de GPS, pueden proporcionar información sobre el movimiento, como la altura y la velocidad del vuelo y las rutas migratorias a diversas escalas, incluidas escalas locales, regionales e internacionales. Estos datos se pueden combinar con las condiciones atmosféricas y del paisaje, que podrían explicar el comportamiento



Un águila de cola blanca planeando. Foto de iStock 1078410696

y el uso del terreno en relación con el hábitat y las condiciones meteorológicas.

Si bien las tecnologías ofrecen datos útiles, es necesario comprender y definir sus limitaciones. En muchos casos, estas limitaciones pueden superarse combinando múltiples tecnologías. También es importante que los proveedores de tecnología, los investigadores y los desarrolladores de energía eólica participen desde el principio y con frecuencia en el uso correcto y la integración de las tecnologías en el parque eólico. Esto incluye saber dónde se ubicarán las tecnologías en el aerogenerador o dentro de la instalación, cómo se alimentará la tecnología y cómo se recopilarán los datos en el sitio o se transmitirán a una ubicación externa.

CONCLUSIÓN

Se asegura una mejor comprensión de cómo la biología básica y la ecología de las aves rapaces ayudan a determinar sus interacciones con los aerogeneradores. Esto se puede lograr a través de enfoques existentes y nuevos para monitorear el comportamiento en varias escalas. Un mayor uso de tecnologías puede mejorar nuestra comprensión de parámetros que son difíciles de cuantificar, como la velocidad de vuelo y la evasión, pero que influyen en los resultados del modelo. Décadas de investigación han proporcionado información útil sobre las interacciones entre aves rapaces y aerogeneradores. Sin embargo, existen oportunidades para mejorar y aprovechar los datos existentes que permitan optimizar las decisiones operativas y de ubicación para cumplir con nuestros objetivos de producción y conservación de energía.

Redactado por: Laura Dempsey y Cris Hein

Colaboradores: Filipe Canario, Paulo Cardosa, Dario Fernandez-Bellon, Esteban Gernandez-Juricic, Yuki Hamada, Todd Katzner, Miguel Mascarenhas, Roel May, Luisa Muentter, Steffen Oppel, Eliot Quon, Miguel Repas, Sandra Rodriguez, Kenton Taylor, Sergio Vignali, y Linda Visinoni

Para obtener más información sobre WREN, visite <https://tethys.pnnl.gov/about-wren>