

GUÍAS SOBRE MEDIO AMBIENTE, SALUD Y SEGURIDAD PARA LA ENERGÍA EÓLICA

INTRODUCCIÓN

1. Las Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad (MASS) son documentos de referencia técnica que contienen ejemplos generales y específicos de la práctica internacional recomendada para la industria en cuestión¹. Cuando uno o más miembros del Grupo Banco Mundial participan en un proyecto, estas Guías sobre MASS se aplican con arreglo a los requisitos de sus respectivas políticas y normas. Las presentes Guías sobre MASS para este sector de la industria deben usarse junto con el documento que contiene las **Guías generales sobre MASS**, en el que se ofrece orientación a los usuarios respecto de cuestiones generales sobre la materia que pueden aplicarse potencialmente a todos los sectores industriales. Los proyectos más complejos podrían requerir el uso de múltiples guías para distintos sectores de la industria. Para obtener una lista completa de guías sobre los distintos sectores de la industria, visite: www.ifc.org/ehsguidelines.
2. Las Guías sobre MASS contienen los niveles y los indicadores de desempeño que generalmente pueden lograrse en instalaciones nuevas, con la tecnología existente y a costos razonables. En lo que respecta a la posibilidad de aplicar estas guías a instalaciones ya existentes, podría ser necesario establecer metas específicas del lugar, así como un calendario adecuado para alcanzarlas.
3. La aplicación de las guías debe adaptarse a los peligros y riesgos establecidos para cada proyecto sobre la base de los resultados de una evaluación ambiental en la que se tengan en cuenta las variables específicas del emplazamiento, como las circunstancias del país receptor, la capacidad de asimilación del medio ambiente y otros factores relativos al proyecto. La decisión de aplicar recomendaciones técnicas específicas debe basarse en la opinión profesional de personas idóneas y con experiencia.
4. En los casos en que el país receptor tenga reglamentaciones diferentes a los niveles e indicadores presentados en las Guías sobre MASS, los proyectos deben alcanzar los que sean más rigurosos. Cuando, en vista de las circunstancias específicas de cada proyecto, se considere necesario aplicar medidas o niveles menos exigentes que aquellos proporcionados por estas Guías sobre MASS, será necesario aportar una justificación exhaustiva y detallada de las alternativas propuestas como parte de la evaluación ambiental en un emplazamiento concreto. Esta justificación debería demostrar que los niveles de desempeño escogidos garantizan la protección de la salud y el medio ambiente.

APLICABILIDAD

5. Las **Guías sobre MASS para la energía eólica** contienen información pertinente sobre aspectos ambientales, de salud y de seguridad de las instalaciones en tierra (onshore) y mar (offshore). Han de

¹ Definida como el ejercicio de la aptitud profesional, la diligencia, la prudencia y la previsión que podrían esperarse razonablemente de profesionales idóneos y con experiencia que realizan el mismo tipo de actividades en circunstancias iguales o semejantes en el ámbito mundial. Las circunstancias que los profesionales idóneos y con experiencia pueden encontrar al evaluar el amplio espectro de técnicas de prevención y control de la contaminación a disposición de un proyecto pueden incluir, sin que la mención sea limitativa, diversos niveles de degradación ambiental y de capacidad de asimilación del medio ambiente, así como diversos grados de factibilidad financiera y técnica.

aplicarse a las instalaciones de generación de energía eólica desde las primeras evaluaciones de viabilidad que se realicen, así como desde el momento en que se elabore la evaluación de impacto ambiental, y se deberán continuar aplicando durante las fases de construcción y operación. El anexo A contiene una descripción completa de las actividades de este sector. Las cuestiones sobre MASS asociadas con la construcción y operación de las líneas de transmisión se describen en las **Guías sobre MASS para la transmisión y distribución de electricidad**.

Este documento está dividido en las siguientes secciones:

1. Manejo e impactos específicos de la industria	2
1.1 Medio ambiente	2
1.2 Higiene y seguridad ocupacional	16
1.3 Higiene y seguridad en la comunidad	20
2. Seguimiento de los indicadores del desempeño	26
2.1 Medio ambiente	26
2.2 Higiene y seguridad ocupacional	28
3. Referencias	30
Anexo A. Descripción general de las actividades de la industria.....	38

1. MANEJO E IMPACTOS ESPECÍFICOS DE LA INDUSTRIA

6. La siguiente sección contiene una síntesis de las cuestiones relativas al medio ambiente, la salud y la seguridad asociadas con las instalaciones de generación de energía eólica, así como recomendaciones para su manejo. En consonancia con lo descrito en la introducción de las **Guías generales sobre MASS**, el enfoque general aplicable al manejo de estas cuestiones debe tomar en cuenta lo antes posible los impactos potenciales en el ciclo del proyecto, además de la incorporación de consideraciones medioambientales, de salud y de seguridad en el proceso de selección del emplazamiento, con el fin de ampliar al máximo todas las opciones disponibles para evitar y minimizar posibles impactos adversos. Lo que es más importante, muchos de los impactos sobre el medio ambiente, la salud y la seguridad asociados con las instalaciones de generación de energía eólica se pueden evitar mediante una selección cuidadosa del emplazamiento.

1.1 Medio ambiente

7. Las actividades de construcción de parques eólicos incluyen el desbroce del terreno para la preparación del emplazamiento y las vías de acceso; la excavación, la voladura y la construcción de taludes terraplenado; el transporte de materiales de suministro y combustible; la construcción de los cimientos, lo que implica excavaciones y colocación de hormigón; la operación de grúas para la descarga e instalación de los equipos; la construcción e instalación y de infraestructuras asociadas²; la instalación de conductores aéreos o tramos de cableado (en superficie o subterráneos), y la recepción de nuevos equipos. Las actividades de desmantelamiento pueden suponer la retirada de infraestructuras del proyecto y la rehabilitación del emplazamiento.

8. Los impactos ambientales asociados con las actividades de construcción, operación y desmantelamiento de parques eólicos pueden incluir, entre otros, impactos sobre el entorno físico (como

² Según se describe en el anexo A.

ruido o impacto visual) y sobre la biodiversidad (que afectan a aves y murciélagos, por ejemplo). Dado que los parques eólicos suelen situarse en lugares remotos, el transporte de equipos y materiales durante la construcción y el desmantelamiento puede plantear desafíos logísticos (por ejemplo, el transporte de largas estructuras rígidas, como palas y pesados tramos de torre). La sección sobre construcción y desmantelamiento de las **Guías generales sobre MASS** contiene recomendaciones para el manejo de tales cuestiones. La construcción de carreteras de acceso hasta el emplazamiento en lugares remotos podría generar riesgos adicionales, como impactos adversos sobre la biodiversidad y la inducción de acceso a zonas relativamente inaccesibles. La **Guía sobre MASS para carreteras de peaje** proporciona recomendaciones adicionales para prevenir y controlar los impactos asociados con la construcción y operación de la infraestructura viaria.

9. Las cuestiones ambientales específicas de la construcción, la operación y el desmantelamiento de los proyectos e instalaciones dedicados a la generación de energía eólica incluyen:

- paisajes terrestres y marinos e impactos visuales;
- ruido;
- biodiversidad;
- parpadeo de sombras (shadow flicker);
- calidad del agua.

10. Dada la naturaleza de las instalaciones de energía eólica, a este sector se lo puede asociar particularmente con impactos acumulativos de carácter ambiental y social. Si, en relación con la evaluación de los impactos acumulativos, no se dispone de una guía pertinente específica del país de que se trate, deberían servir como referencia las fuentes internacionales de orientación sobre prácticas recomendadas en esta materia³. Las evaluaciones de los impactos acumulativos están especialmente justificadas cuando hay múltiples parques eólicos ubicados muy próximos a receptores sensibles, como en áreas de elevado valor en términos de biodiversidad.

1.1.1 Paisajes terrestres y marinos e impactos visuales

11. En función de su ubicación, un parque eólico puede producir impactos sobre el paisaje, especialmente si el emplazamiento es visible desde áreas residenciales o lugares turísticos, o si está ubicado en sus proximidades. Los impactos visuales asociados con la energía eólica suelen derivarse de las propias turbinas instaladas y en funcionamiento (por ejemplo, su color, altura o número).

12. También se pueden producir impactos en relación con la interacción de parques eólicos operativos con el carácter del paisaje terrestre y/o marítimo circundante. Han de tomarse también en consideración los impactos sobre las zonas legalmente protegidas y reconocidas internacionalmente por su importancia para la biodiversidad⁴, así como elementos del patrimonio cultural⁵. Para documentar los procesos de

³ Entre los documentos orientativos figuran: Corporación Financiera Internacional (IFC) (2013), Manual de Buena Práctica: Evaluación y Gestión de Impactos Acumulativos: Guía para el Sector Privado en Mercados Emergentes; Asociación Canadiense de Energía Eólica (CanWEA) (2011), An Introduction to Wind Energy Development in Canada; Patrimonio Natural de Escocia (SNH) (2012), *Assessing the Cumulative Impact of Onshore Wind Energy Developments*.

⁴ Véase la definición de “zonas legalmente protegidas y reconocidas internacionalmente” en la norma de desempeño 6 de IFC, párrafo 20 (IFC, 2012).

evaluación y consulta, se recomienda trazar mapas de zona de influencia visual y confeccionar imágenes tridimensionales y fotomontajes desde puntos panorámicos clave.

13. Las medidas para evitar y minimizar los impactos visuales y sobre paisajes terrestres y marinos se asocian en gran medida con el emplazamiento y la disposición de los aerogeneradores e infraestructuras asociadas, como torres meteorológicas, pistas de acceso en las instalaciones terrestres y subestaciones.

14. Deberá tomarse en consideración la disposición de las turbinas, su tamaño y su escala en relación con el carácter de los paisajes terrestre y marino circundantes, así como con los receptores visuales circundantes (por ejemplo, viviendas, usuarios de zonas/rutas recreativas).

15. También habrá de tomarse en consideración, en la medida de lo posible, la proximidad de los aerogeneradores a asentamientos, áreas residenciales y otros receptores visuales para minimizar los impactos visuales y los impactos sobre las áreas residenciales de recreo. Al estudiar el posible emplazamiento de las turbinas, deben tenerse en consideración todos los ángulos de visión, incluidas las panorámicas desde asentamientos cercanos.

16. Otros factores que se puede tomar en cuenta para minimizar los impactos visuales son:

- Incorporar las opiniones de la comunidad en la disposición y el emplazamiento del parque eólico.
- Mantener un tamaño y diseño uniformes de los aerogeneradores (por ejemplo, el tipo de turbina y torre, así como la altura).
- Cumplir, cuando existan, las normas específicas de cada país sobre señalización de aerogeneradores, incluidos los requisitos en materia medioambiental y de navegación aérea o marítima (véase más adelante la sección sobre Higiene y seguridad en la comunidad).
- Minimizar la presencia de estructuras auxiliares, limitando al máximo las infraestructuras del emplazamiento, especialmente el número de carreteras, así como soterrando las líneas eléctricas del sistema colector, evitando el apilamiento de material excavado o escombros de construcción y eliminando las turbinas no operativas.
- Implementar medidas contra la erosión y repoblar sin demora, con especies vegetales autóctonas, las tierras desbrozadas.

1.1.2 Ruido

Ruido de construcción

17. Hay que limitar el ruido de la construcción de las instalaciones terrestres para proteger a las personas que viven en zonas cercanas. Entre las actividades que producen ruido figuran las voladuras, el acopio de materiales, la construcción de carreteras y bases de los aerogeneradores, y el levantamiento de las propias turbinas. Las **Guías generales sobre MASS** contienen orientaciones sobre los niveles aceptables de ruido.

18. El ruido y las vibraciones submarinas derivadas de la construcción en el medio marino —por ejemplo, de los trabajos de acúmulo de material en determinadas zonas — pueden tener un impacto

⁵ Emplazamientos con valor arqueológico, paleontológico, histórico, cultural, artístico y religioso.

negativo sobre la vida marina, en especial sobre los peces, los mamíferos marinos y las tortugas de mar. Los parámetros medioambientales que determinan la propagación del sonido en el mar son específicos de cada emplazamiento, y el impacto sobre las especies marinas puede ser distinto en función de su sensibilidad a las frecuencias de sonido submarino. Deben realizarse evaluaciones que determinen dónde y/o cuándo el ruido submarino representa un impacto significativo potencial para la vida marina, debiéndose identificar además las medidas de mitigación adecuadas.

Ruido operacional

19. Los aerogeneradores producen ruido en virtud de diferentes mecanismos, que en líneas generales se pueden agrupar según su origen sea mecánico o aerodinámico⁶. Los principales componentes mecánicos son la multiplicadora, el generador y el sistema de posicionamiento, cada uno de los cuales genera un sonido característico. Otros sistemas mecánicos, como ventiladores y motores hidráulicos, también pueden contribuir a las emisiones acústicas generales. El ruido mecánico se irradia por la superficie de la turbina y por las aberturas en el alojamiento de la góndola. La interacción del aire y de las palas de las turbinas genera ruido aerodinámico a través de diversos procesos cuando el viento circula sobre las palas y a través de ellas⁷.

20. El impacto acústico debe evaluarse conforme a los siguientes principios:

- Los receptores deben seleccionarse conforme a su sensibilidad medioambiental (ser humano, ganado o fauna silvestre).
- Deben llevarse a cabo modelos preliminares para determinar si se precisa una investigación más detallada. La elaboración del modelo preliminar puede limitarse a suponer que la propagación será hemisférica (es decir, que la irradiación acústica se propagará en todas las direcciones a partir de un punto de origen). Los modelos preliminares deben centrarse en receptores sensibles en un radio de 2000 metros (m) desde cualquiera de los aerogeneradores de un parque eólico.
- Si del modelo preliminar se desprende que el ruido de la turbina probablemente afectará a todos los receptores sensibles por debajo de un LA90⁸ de 35 decibelios (dB) (A) a una velocidad del viento de 10 metros por segundo (m/s) y a una altura de 10 m durante períodos diurnos y nocturnos, posiblemente ese modelo será suficiente para evaluar el impacto acústico⁹; de no ser así, se recomienda realizar uno más detallado, en el que se podrían incluir mediciones del ruido ambiental de fondo.
- En todos los modelos debe tomarse en cuenta el ruido acumulativo derivado de todos los parques eólicos de las proximidades que pudieran tener el potencial de incrementar los niveles acústicos.
- Si han de emplearse criterios acústicos basados en el ruido ambiente, será preciso medir el ruido de fondo sin el de los aerogeneradores. Esta tarea habrá de realizarse en uno o más receptores sensibles al ruido. Los receptores críticos serán, con frecuencia, los que más

⁶ Por lo general, las turbinas eólicas generan más ruido a medida que aumenta la velocidad del viento.

⁷ Howe, B. *et al.* (2007), *Wind Turbines and Sound: Review and Best Practice Guidelines*.

⁸ Exceso de nivel de ruido durante un 90 % del período de medición, ponderado al factor A.

⁹ Unidad de Apoyo a la Tecnología Energética (ETSU) (1997), *The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms*, informe ETSU-R-97.

próximos estén a la instalación. No obstante, si el receptor más cercano también se encuentra en la proximidad de otras fuentes significativas de ruido, puede ser necesario seleccionar un receptor alternativo.

- El ruido de fondo debe medirse a 10 m de altura en series de intervalos de 10 minutos, utilizando los sistemas adecuados de tamizado de corrientes de aire. Deben realizarse al menos cinco de estas mediciones de 10 minutos por cada valor entero de velocidad del viento a partir de velocidades de arranque de 12 m/s^{10,11}.

Medidas de mitigación de ruido

21. Las medidas para prevenir y controlar el ruido están relacionadas principalmente con las normas de diseño de ingeniería y con el emplazamiento de los aerogeneradores. En las turbinas modernas, el ruido mecánico es, por lo general, considerablemente menor que el ruido aerodinámico, si bien las continuas mejoras en el diseño aerodinámico están logrando reducir este último¹².

22. Entre las medidas adicionales recomendadas para el manejo del ruido figuran:

- Funcionamiento de los aerogeneradores en modo de reducción de contaminación acústica.
- Construcción de muros u otras barreras acústicas apropiadas en torno a edificios potencialmente afectados (esto solo sería una alternativa en terreno montañoso, dada la altura de los aerogeneradores).
- Limitación del funcionamiento de los aerogeneradores a partir de determinada velocidad del viento, cuando el ruido que produzcan sea inadmisibles en las circunstancias específicas del proyecto.

23. Consúltese más adelante la sección dedicada a las alternativas de mitigación del ruido en relación con receptores ecológicos en instalaciones en el mar.

1.1.3 Biodiversidad

24. Los parques eólicos pueden generar impactos adversos directos e indirectos en la biodiversidad marina y terrestre en la fase de construcción, durante su funcionamiento y mantenimiento, y en su desmantelamiento^{13,14}. Entre los ejemplos de ese tipo de impactos figuran las muertes de aves y murciélagos por colisión; muertes de murciélagos por el impacto potencial del barotrauma pulmonar¹⁵;

¹⁰ Instituto de Acústica (IOA) (2013), A Good Practice Guide to the Application of ETSU-R-97 for the Assessment and Rating of Wind Turbine Noise.

¹¹ McLaughlin, D. (2012), "Wind Shear and Its Effect on Wind Turbine Noise Assessment", *Acoustics Bulletin*, julio-agosto de 2012, pp. 39-42.

¹² Ídem.

¹³ Strickland, D. *et al.* (2011), *Comprehensive Guide to Studying Wind Energy/Wildlife Interactions*, National Wind Coordinating Collaborative, Washington, DC.

¹⁴ Ledec, G. C. *et al.* (2011), *Greening the Wind: Environmental and Social Considerations for Wind Power Development*, Banco Mundial, Washington, DC.

¹⁵ Advértase que las pruebas indican que puede haberse sobrestimado el impacto adverso sobre los murciélagos en relación con el barotrauma. Téngase en cuenta la siguiente bibliografía, entre otras fuentes: Baerwald, E. F. *et al.* (2008), "Barotrauma is a Significant Cause of Bat Fatalities at Wind Turbines", *Current Biology* 18:R695-R696; Houck, D. *et al.* (2012), *A Computational and Analytical Study of Bats Flying near Wind Turbines: Implications*

desplazamiento de la fauna silvestre; transformación o degradación del hábitat^{16,17,18}, y contaminación acústica que puede afectar a los mamíferos marinos en las instalaciones en el mar. En entornos marinos, las alteraciones bentónicas y las nuevas estructuras también pueden tener un impacto sobre los hábitats existentes y atraer a especies que creen nuevos hábitats, tales como moluscos, corales y vegetación subacuática¹⁹. La ubicación de las turbinas operativas puede alterar la circulación diaria de aves y murciélagos (por ejemplo, desde sus lugares de alimentación a posaderos o zonas de cría), y puede suponer una barrera en las pautas migratorias de determinadas especies animales^{20, 21}. También pueden derivarse impactos adversos de infraestructuras asociadas, en especial de líneas aéreas de transmisión, mástiles meteorológicos, subestaciones, cables submarinos, carreteras, alumbrado y tráfico de embarcaciones de mantenimiento.

25. La selección del emplazamiento es fundamental para evitar y minimizar los posibles impactos adversos en la biodiversidad. Las siguientes consideraciones han de tenerse en cuenta a la hora de realizar la selección del emplazamiento:

- Estudio de la proximidad del proyecto de parque eólico a lugares de alto valor en términos de biodiversidad en la región (incluidos los ubicados en zonas transfronterizas). Los análisis preliminares pueden mejorar la selección del emplazamiento del proyecto a nivel macro, así como la determinación del alcance de las prioridades para evaluaciones ulteriores, con la consiguiente reducción de impactos y costos innecesarios futuros en materia de biodiversidad. Entre los emplazamientos de importancia local, regional e internacional pueden figurar: zonas protegidas nacionales e internacionales (como áreas marinas protegidas), áreas de importancia para la conservación de aves (IBA), zonas clave para la biodiversidad (KBAs), emplazamientos de la Alianza para la Cero Extinción (AZE), sitios Ramsar (humedales de importancia internacional), lugares conocidos de concentración de especies gregarias y ecosistemas singulares o amenazados. Es posible que se sepa de la importancia de estos lugares como rutas de migración, humedales, o zonas de refugio, alimentación o cría; pueden albergar zonas de hibernación de murciélagos y posaderos, o puede haber en ellos importantes elementos topográficos, como crestas, valles fluviales, litorales y zonas ribereñas. Entre las herramientas de utilidad para la selección de emplazamientos figuran: i) evaluaciones estratégicas ambientales para la comparación de la biodiversidad y otros factores de sensibilidad ambiental

Regarding Barotrauma, presentación oral ante el Comité Nacional de Coordinación Eólica, IX Reunión de investigación sobre fauna y viento, 27 al 30 de noviembre de 2012, Denver, Colorado, EE. UU.; Rollins, K. E. *et al.* (2012), "A Forensic Investigation into the Etiology of Bat Mortality at a Wind Farm: Barotrauma or Traumatic Injury?", *Veterinary Pathology* 49, pp. 362-371.

¹⁶ Hötter *et al.* (2006), *Impacts on Biodiversity of Exploitation of Renewable Energy Sources: The Example of Birds and Bats – Facts, Gaps in Knowledge, Demands for Further Research, and Ornithological Guidelines for the Development of Renewable Energy Exploitation*, Berghausen: Michael-Otto-Institut im NABU.

¹⁷ Pearce-Higgins, J. M. (2009), "Distribution of Breeding Birds around Upland Wind Farms", *Journal of Applied Ecology*.

¹⁸ Debido a la limitada huella de las instalaciones de generación de energía eólica, es más probable que haya que tomar en consideración la transformación o degradación del hábitat en entornos de este tipo que sean de alto valor, especialmente en los forestales, donde hay más probabilidades de que se generen impactos relacionados con la fragmentación de hábitat.

¹⁹ Köller, J. *et al.* (comps.) (2006), *Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts*, Berlín.

²⁰ Drewitt, A. L. y H. W. Langston (2006), "Assessing the Impacts of Wind Farms on Birds", *Ibis* 148, pp. 29-42.

²¹ Masden *et al.* (2009), "Barriers to Movements: Impacts of Wind Farms on Migrating Birds", *ICES Journal of Marine Science* 66, pp. 746-753.

en las diferentes áreas de recurso eólico; ii) mapas de (superposición de) sensibilidad ambiental²²; iii) recursos digitales para la visualización de áreas de elevado valor en términos de biodiversidad^{23,24,25}, y iv) mapas de zonificación.

- En relación con las instalaciones eólicas en el mar, la selección del emplazamiento debe incluir un examen de las áreas de importancia para el ciclo vital de la vida marina, en particular de los peces, mamíferos marinos y tortugas de mar (por ejemplo, las zonas de alimentación, cría, parto y desove), u otros hábitats, como los hábitats de dispersión juvenil, criaderos de ostras y mejillones, arrecifes o lechos marinos vegetales y de algas laminarias. La selección del emplazamiento debería también incluir un examen de zonas productivas de pesca.
- Las consultas con organizaciones conservacionistas pertinentes nacionales y/o internacionales contribuyen también a recabar información para la selección del emplazamiento tanto para las instalaciones en tierra como en mar.

Evaluaciones previas a la construcción

26. Tras determinar el alcance del proyecto y realizar un estudio documental, puede ser necesario recopilar información de referencia sobre la diversidad biológica específica del emplazamiento para documentar la evaluación del impacto ambiental y social. Cuando sea preciso elaborar estudios de referencia en materia de biodiversidad, deberán realizarse lo antes posible (por ejemplo, una vez instaladas las torres meteorológicas del parque eólico) y tener en cuenta factores de estacionalidad. En los estudios de referencia en materia de biodiversidad puede ser útil aplicar un enfoque de niveles, de forma que el esfuerzo invertido en el estudio sea proporcional a la fase de desarrollo del proyecto, considerando además el valor de la diversidad biológica existente en la zona^{26,27}.

27. Existen guías en las que se detallan el ámbito y el alcance de los estudios sobre diversidad biológica para las plantas de generación de energía eólica terrestres^{28,29,30,31} y marítimas^{32,33,34,35,36,37}. En

²² Por ejemplo, el proyecto sobre aves migratorias de vuelo en altura disponible en <http://migratorysoaringbirds.undp.birdlife.org/en>.

²³ Instrumentos como la herramienta integrada para la evaluación de la biodiversidad pueden facilitar el acceso a conjuntos de datos internacionales clave. Véase www.ibat-alliance.org.

²⁴ Véase <http://www.protectedplanet.net/>.

²⁵ Comisión Europea (CE) (2011), *La energía eólica y la Red Natura 2000*, documento de orientación

²⁶ A. R., Jenkins *et al.* (2011), *Best Practice Guidelines for Avian Monitoring and Impact Mitigation at Proposed Wind Energy Development Sites in Southern Africa*.

²⁷ Servicio de Pesca y Fauna Silvestre de Estados Unidos (2012), *Land-based Wind Energy Guidelines*.

²⁸ Patrimonio Nacional de Escocia (SNH) (2014), *Visual Assessment of Windfarms: Best Practice*.

²⁹ Servicio de Pesca y Fauna Silvestre de Estados Unidos (2012).

³⁰ Rodrigues, L. *et al.* (2014), "Guidelines for Consideration of Bats in Wind Farm Projects", *EUROBATS Publication Series N.º 6*, Bonn: UNEP/EUROBATS.

³¹ Hundt, L. (2012), *Bat Surveys: Good Practice Guidelines*. Bat Conservation Trust.

³² Camphuysen, K. (2004), *Towards Standardized Seabirds at Sea Census Techniques in Connection with Environmental Impact Assessments for Offshore Wind Farms in the U.K.*, Collaborative for Offshore Wind Research into the Environment (COWRIE).

³³ Walls, R. J. *et al.* (2009), *Revised Best Practice Guidance for the Use of Remote Techniques for Ornithological Monitoring at Offshore Windfarms*, COWRIE.

³⁴ Maclean, I. M. D. *et al.* (2009), *A Review of Assessment Methodologies for Offshore Windfarms*. British Trust for Ornithology Report. Encargo de COWRIE.

los casos en que aún no se hayan elaborado directrices claras de ámbito nacional, se aplicarán las de carácter internacional, tomándose en cuenta la necesidad de realizar estudios específicos en materia de emplazamiento, especies y temporalidad. Es poco probable que evaluaciones genéricas de riesgos y planes de mitigación sean de utilidad o fácilmente transferibles entre especies y emplazamientos. En los estudios se tomarán en consideración las siguientes cuestiones:

- Cuestiones específicas del emplazamiento: deberán tomarse en consideración los hábitats, la ubicación geográfica, la topografía y la proximidad del parque eólico a lugares de elevado valor en términos de biodiversidad.
- Cuestiones específicas de las especies: los estudios se deberán centrar en especies de fauna y flora de elevado valor en términos de diversidad biológica, en aquellas con un estado de conservación especial de ámbito nacional o internacional, en especies endémicas y en especies que presenten un riesgo elevado de sufrir un impacto derivado de las instalaciones de energía eólica. Por ejemplo, entre las especies con un riesgo relativamente elevado de colisión figuran ciertas aves de vuelo prolongado y en altura y/o migratorias, así como las que vuelan en bandos numerosos (gregarias), y las aves rapaces, además de especies de murciélagos migratorios, insectívoros y de posaderos forestales. Entre las especies con un riesgo relativamente elevado de verse afectadas por alteraciones visuales figuran las que habitan en campo abierto y evitan instintivamente estructuras elevadas³⁵. Algunas especies pueden verse atraídas hacia las instalaciones de energía eólica, tomándolas por posaderos o comederos, lo que puede aumentar más la posibilidad de colisión. Entre las especies con riesgo de colisión con líneas de transmisión asociadas a las instalaciones eólicas se encuentran aves relativamente corpulentas y con baja maniobrabilidad (por ejemplo, buitres, avutardas, aves acuáticas, grullas, cigüeñas, pelícanos, garzas y flamencos), así como especies de aves de vuelo gregario. Las especies con riesgo de electrocución con líneas de transmisión asociadas a las instalaciones eólicas incluyen diversos tipos de aves rapaces, buitres, búhos y cierta clase de cigüeñas y otras aves de gran envergadura, con tendencias conductuales a posarse frecuentemente en líneas eléctricas y estructuras asociadas. Entre las especies con un riesgo relativamente elevado de sufrir trastornos derivados del ruido submarino (en las instalaciones eólicas marítimas) figuran los mamíferos marinos (especialmente los cetáceos) y ciertas especies de peces de cardumen pelágico (por ejemplo, los arenques). Estos impactos y las posibles alternativas de mitigación deben valorarse con cada especie.
- Cuestiones específicas estacionales: los estudios también deben tomar en cuenta ciertos períodos del año en los que el emplazamiento del proyecto puede tener una función distinta o de mayor valor ecológico (por ejemplo, época de migración, estación de cría o invernada). Cuando se identifica fauna en riesgo, los estudios deben realizarse por regla general durante al menos un año. En ocasiones puede ser preciso realizar estudios más prolongados en áreas con concentraciones excepcionales de aves migratorias en riesgo y en áreas en las que es escasa

³⁵ Thaxter, C. B. y N. H. K. Burton (2009), *High Definition Imagery for Surveying Seabirds and Marine Mammals: A Review of Recent Trials and Development of Protocols*, informe del British Trust for Ornithology, encargo de COWRIE.

³⁶ Maclean, I. M. D. *et al.*, *Use of Aerial Surveys to Detect Bird Displacement by Offshore Windfarms*, informe de investigación de BTO n.º 446 para COWRIE (Thetford: BTO).

³⁷ Jackso, D. y P. Whitfield (2011), "Guidance on Survey and Monitoring in Relation to Marine Renewables Deployments in Scotland", *Birds*, volumen 4.

³⁸ Strickland *et al.* (2011).

la información disponible sobre la diversidad biológica. Esta posibilidad habrá de decidirse en función de las características de cada proyecto.

28. Para minimizar los riesgos de colisión de aves y murciélagos, los estudios de referencia deben diseñarse y aplicarse de forma que ofrezcan orientación adecuada sobre el emplazamiento de los aerogeneradores y a nivel micro-siting. Normalmente, esta tarea supone la recopilación de información relativamente precisa sobre los patrones espaciales que siguen en el lugar elegido las especies silvestres en riesgo, así como la consideración de la ubicación de ciertos elementos topográficos, ecológicos o paisajísticos que podrían atraer o concentrar la actividad de fauna voladora en la zona del proyecto y su paisaje circundante³⁹. La selección de los métodos para la recopilación de datos específicos y de los diseños de estudio debe realizarse en función de consideraciones concretas del lugar y las especies, contando con orientación de técnicos expertos; entre esos métodos pueden incluirse los estudios que se realizan desde observatorios estratégicos^{40, 41}, estudios por conteo, métodos acústicos de ultrasonido, técnicas de teledetección para la recolección de datos u otras técnicas para conocer patrones de desplazamiento, según corresponda. El alcance de la recopilación de datos debe ser proporcional al riesgo para la diversidad biológica derivado del eólico.

29. En los estudios previos a la construcción hay que evaluar, en función de cada proyecto, el uso y la efectividad de radares u otros medios tecnológicos de teledetección, y puede que sea aconsejable complementarlos con estudios realizados por observadores, según las circunstancias⁴². Los dispositivos tecnológicos de teledetección son especialmente útiles en las instalaciones eólicas marítimas, dado que en el medio marino los estudios realizados por observadores son más difíciles y costosos.

30. Entre los estudios sobre murciélagos pueden incluirse evaluaciones de los hábitats de alimentación y/o de los posaderos tanto en el área del proyecto como en sus proximidades, estudios de actividad (transectos) en los que se utilicen detectores portátiles de ultrasonido para murciélagos, estudios de captura y liberación, y de despliegue de detectores estáticos de ultrasonido (especialmente en los emplazamientos de los aerogeneradores). Los detectores estáticos es preferible desplegarlos en altura, pudiéndose instalar en las torres meteorológicas.

31. Dependiendo de la ubicación del parque eólico y de las consideraciones específicas relativas a las especies, también puede ser adecuado elaborar modelos sobre riesgos de colisión (CRM), especialmente en los casos en que la instalación se ubica en las proximidades de áreas de elevado valor en términos de diversidad biológica^{43,44}. La utilidad de los CRM debe evaluarse con expertos calificados en función de las características de cada proyecto. Los CRM son especialmente útiles en instalaciones en el mar, donde el uso de instrumentos empíricos es limitado⁴⁵.

³⁹ Johnson, G. D. *et al.* (2000), *Wildlife Monitoring Studies, Seawest Windpower Plant, Carbon County, Wyoming, 1995-1999*, informe final preparado por la SeaWest Energy Corporation, San Diego, California, y el Bureau of Land Management, Rawlins, Wyoming, Cheyenne: Western EcoSystems Technology, Inc. (WEST).

⁴⁰ SNH (2014).

⁴¹ Strickland *et al.* (2011).

⁴² Walls *et al.* (2009).

⁴³ SNH (2000), *Guidance: Wind Farms and Birds – Calculating Theoretical Collision Risk Assuming No Avoiding Action*.

⁴⁴ Band, B. (2012), *Using a Collision Risk Model to Assess Bird Collision Risks for Offshore Wind Farms*, British Trust for Ornithology.

⁴⁵ SNH (2000).

32. Cuando en una misma zona geográfica y en las proximidades de áreas de elevado valor en términos de diversidad biológica se concentren múltiples parques eólicos, se recomienda a los promotores que en los estudios y actividades de seguimiento apliquen un enfoque coordinado. Este planteamiento resulta rentable, pues los estudios se pueden planificar e implementar de forma conjunta, compartiéndose los costos entre promotores. Un enfoque y una metodología de estudio comunes también se prestan a una evaluación de impactos acumulativos, dado que se pueden estandarizar los métodos de recolección de datos y el nivel de esfuerzo. Las evaluaciones de impactos acumulativos deben realizarse cuando en las proximidades de áreas de elevado valor en biodiversidad se concentren múltiples parques eólicos.

Medidas de mitigación (terrestres)

33. Una cuidadosa selección y disposición del emplazamiento debería reducir los impactos adversos en la biodiversidad. A los impactos adversos residuales significativos se les aplicarán las medidas adecuadas de mitigación⁴⁶, entre las que se pueden incluir las siguientes:

- Modificar el número y tamaño de los aerogeneradores y su disposición en función de los riesgos e impactos específicos en materia de emplazamiento, especies y estacionalidad. Un menor número de torres altas puede reducir el riesgo de colisión para la mayoría de las aves y reducir las labores de desbroce de vegetación para la construcción. Consecuentemente, para determinar la ubicación de infraestructuras asociadas —como líneas de transmisión, subestaciones y carreteras de acceso— también se deberá en cuenta evaluaciones de impacto y de riesgo para la diversidad biológica.
- Si el parque eólico se ubica en las proximidades de áreas de elevado valor en términos de biodiversidad, habrá de considerarse, como parte de la estrategia de mitigación, una gestión activa de los aerogeneradores, como procedimientos de limitación de la actividad (curtailment) y de parada bajo demanda (shut-down on demand), y se tendrá además en cuenta, desde una fase temprana, en los estudios económicos y de sensibilidad. Este método de mitigación debe ser adaptable y estar orientado por un programa bien desarrollado de seguimiento posterior a la construcción. Las medidas de limitación de actividad y de parada bajo demanda deben realizarse en un primer momento de forma experimental, en conjunción con aerogeneradores control que no sean objeto de limitación, y sometiendo a ambos grupos de turbinas a un seguimiento detallado para determinar si las medidas de limitación producen la reducción de muertes deseada. En ciertos casos deberá considerarse la posibilidad de realizar la parada de aerogeneradores por medios tecnológicos, si bien los sistemas de ese tipo deberán ser sometidos a un período de verificación y evaluación con observadores sobre el terreno, mediante un proceso de gestión adaptable.
- Evitar la creación de elementos artificiales en el entorno que pudieran atraer a las aves y a los murciélagos hacia la instalación de energía eólica⁴⁷, como masas de agua, zonas de descanso y nidificación, nuevos comederos, y hábitats que sirvan de refugio o posaderos. Es útil cubrir o tapar cavidades en muros o edificios para descartar la posibilidad de que se conviertan en dormideros de murciélagos.
- Evitar atraer a las aves a fuentes predecibles de alimento, como vertederos o zonas de evacuación de residuos en el emplazamiento o fuera de él; esto es de especial importancia

⁴⁶ National Wind Coordinating Collaborative (2007), *Mitigation Toolbox*.

⁴⁷ Se entiende que, en el caso de los murciélagos, las propias turbinas son un elemento de atracción.

cuando hay presencia de buitres u otras aves carroñeras. También es posible que haya que aplicar este tipo de medidas de mitigación, para que sean efectivas, en las inmediaciones del parque eólico.

- Tomar en consideración la posibilidad de realizar ajustes en las velocidades de viento de arranque para reducir potenciales colisiones de murciélagos. La viabilidad de esta medida habrá de determinarse con información específica sobre las especies y el emplazamiento. Con un ligero incremento en la velocidad de viento de arranque se pueden conseguir reducciones significativas de muertes de murciélagos^{48,49}, con una disminución mínima de generación de energía o de rendimientos económicos.
- Eliminar el “giro libre” (rotación libre de los rotores en condiciones de viento escaso, cuando los aerogeneradores no generan energía).
- Evitar las fuentes luminosas artificiales en la medida de lo posible. La luz blanca y constante, en concreto, atrae a presas (por ejemplo insectos), que a su vez atraen a depredadores. Si se utiliza iluminación, la mejor opción son las luces rojas o blancas intermitentes o que parpadeen^{50, 51}. Deben evitarse las luces constantes o de intermitencia lenta. De utilidad para reducir la contaminación lumínica son los temporizadores, los sensores de movimiento o las lámparas con visera que proyectan la luz hacia abajo.
- Soterrar las líneas de transmisión del emplazamiento.
- Instalar dispositivos salvapájaros en las líneas de transmisión y torres meteorológicas con cables de sujeción para reducir las colisiones de aves cuando estén ubicados en áreas de elevado valor en términos de diversidad biológica o en sus proximidades, o cuando haya aves de alto valor ecológico que corran riesgo de colisión^{52, 53}.
- Emplear en los postes de líneas eléctricas diseños seguros para reducir el riesgo de electrocución⁵⁴.
- Evaluar la situación de los avances en las tecnologías disuasorias para aves y murciélagos, y considerar la puesta en práctica de tecnologías de eficacia probada, según corresponda.

Medidas de mitigación (marítimas)

34. Además de las medidas de mitigación relacionadas con el ruido, entre las medidas de mitigación aplicables a instalaciones eólicas en el mar con relación a la biodiversidad, figuran las siguientes:

⁴⁸ Arnett, E. B. (2011), “Altering Turbine Speed Reduces Bat Mortality at Wind-Energy Facilities”, *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(4), pp. 209-214.

⁴⁹ Good, R. E. et al. (2012), *Bat Monitoring Studies at the Fowler Ridge Wind Farm, Benton County, Indiana*, informe final: 1 de abril al 31 de octubre, preparado por Fowler Ridge Wind Farm, Bloomington: Western EcoSystems Technology, Inc.

⁵⁰ Gehring, J. L. et al. (2009), “Communication Towers, Lights, and Birds: Successful Methods of Reducing the Frequency of Avian Collisions”, *Ecological Applications* 19, pp. 505-514.

⁵¹ Kerlinger, P. et al. (2010), “Night Migrant Fatalities and Obstruction Lighting at Wind Turbines in North America”, *The Wilson Journal of Ornithology* 122, pp. 744-754.

⁵² Comité para el Estudio de la Interacción Aviar con las Líneas Eléctricas (APLIC) (2012), *Reducing Avian Collisions with Power Lines: The State of the Art in 2012*, Washington, DC: Edison Electric Institute y APLIC.

⁵³ APLIC (2012).

⁵⁴ Ídem.

- Si hay especies de alto valor en términos de diversidad biológica asociadas con el proyecto, se evitarán los trabajos de construcción durante épocas sensibles del año (por ejemplo, las temporadas de migración y reproducción) haciéndolas coincidir con momentos del año menos productivos para las poblaciones de peces.
- Emplear un procedimiento de “arranque suave” para los trabajos de percusión, para ayudar a prevenir la exposición de los seres vivos marinos a niveles acústicos y de vibración nocivos, y para proporcionarles una oportunidad de que abandonen la zona. También se recomienda el uso de cortinas de burbujas de aire durante los trabajos de percusión para la instalación de los pilotes⁵⁵.
- Emplear técnicas de pilotaje en barrena u otros medios para la instalación de los generadores eólicos que reduzcan las perturbaciones derivadas del pilotaje convencional.
- Utilizar una base monopilote de turbina en aguas poco profundas, lo que genera menos alteraciones en el lecho marino que otros tipos de cimentación⁵⁶. En aguas profundas pueden ser más apropiadas bases alternativas, como las de tipo torre de celosía.
- Emplear dispositivos acústicos de disuasión que emitan sonidos que induzcan a la fauna marina a alejarse de la zona durante los trabajos de construcción.
- Si se prevé en la zona la presencia de especies de elevado valor en términos de biodiversidad, como mamíferos marinos o tortugas de mar, designar observadores con antelación al comienzo de la construcción. La construcción debe realizarse como mínimo a 500 metros de distancia.
- Utilizar técnicas de aradura por chorro hidráulico u otras técnicas menos nocivas para el medio ambiente para el tendido de cables.
- Cuando en el área de estudio existan especies eléctrica o magnéticamente sensibles, entre las medidas de mitigación se incluyen la adecuada elección de los tipos de cable, la separación entre ellos y su profundidad de soterramiento.

1.1.4 Parpadeo de sombras (shadow flicker)

35. El parpadeo de sombras se produce cuando el sol pasa por detrás de la turbina eólica y proyecta una sombra. Al girar las palas del rotor, las sombras se proyectan por el mismo punto, provocando un efecto denominado parpadeo de sombras. El parpadeo de sombras puede constituir un problema cuando en las proximidades hay receptores potencialmente sensibles (por ejemplo, viviendas, centros de trabajo y espacios o centros de enseñanza o de atención a la salud), o cuando estos están ubicados con una orientación específica hacia la instalación de generación de energía eólica.

36. El parpadeo de sombras no es un factor que habitualmente se considere significativo para las instalaciones marítimas de energía eólica, dadas las distancias existentes entre las turbinas eólicas y los posibles receptores ubicados en tierra firme.

⁵⁵ Nedwell, J. et al. (2003), *Assessment of Sub-Sea Acoustic Noise and Vibration from Offshore Wind Turbines and Its Impact on Marine Wildlife; Initial Measurements of Underwater Noise during Construction of Offshore Wind Farm, and Comparison with Background Noise*, informe 544 R 0424, COWRIE, Southampton, Reino Unido: Subacoustech Ltd.

⁵⁶ Cape Wind Associates, LLC (CWA) (2004), *Cape Wind Energy Project Draft Environmental Impact Statement*.

37. En latitudes altas, los posibles efectos del parpadeo de sombras pueden ser mayores, pues allí la posición del sol en el cielo es más baja y, por consiguiente, se proyectan sombras más alargadas que ampliarán el radio en el que pueda experimentarse un impacto notable derivado del parpadeo.

38. Ante la presencia de receptores en las proximidades, se pueden utilizar programas informáticos comerciales para elaborar prototipos de parpadeo de sombras con los que determinar la distancia hasta la que pueden extenderse sus posibles efectos. Esos mismos programas pueden utilizarse también para predecir la duración y frecuencia del parpadeo en condiciones meteorológicas reales en receptores específicos ubicados en la zona de impacto potencial del parpadeo.

39. Si no es posible emplazar la instalación de los aerogeneradores de tal forma que los receptores cercanos no experimenten los efectos del parpadeo de sombras, se recomienda que, considerando la peor de las hipótesis, la duración prevista de tales efectos por parte de un receptor sensible no supere las 30 horas anuales, o 30 minutos al día, en la peor de las jornadas en que se dé el parpadeo^{57, 58, 59, 60}.

40. Las medidas de prevención y control para evitar los impactos significativos del parpadeo de sombras incluyen:

- Emplazar adecuadamente los aerogeneradores para evitar los efectos del parpadeo de sombras, o cumplir los límites fijados en su duración y frecuencia, tal como se establecen en el párrafo precedente.
- Programar los aerogeneradores para que cese su actividad cuando se excedan los límites establecidos para el parpadeo de sombras.

41. Con anterioridad se consideraba que el destello de las palas o torres, que puede producirse cuando el sol ilumina una pala /aspa o la torre con una orientación en particular, tenía un impacto potencial en las comunidades. Sin embargo, siempre y cuando los aerogeneradores estén pintados con un acabado mate y no reflectante, tal como sucede habitualmente con las turbinas modernas, el destello de las palas o torres ya no se considera una cuestión de importancia.

⁵⁷ Para evaluar el cumplimiento de los límites recomendados, la elaboración de hipótesis y predicciones sobre el parpadeo de sombras se elaborará a partir de la más desfavorable de las situaciones astronómicas, tal como se define a continuación:

- Hay luz solar de forma continuada y cielos permanentemente despejados desde el amanecer hasta el ocaso.
- La velocidad del viento es suficiente como para mantener en rotación continuada las palas de las turbinas.
- La posición del rotor es perpendicular con respecto a la dirección de incidencia de la luz solar.
- Se descartan los ángulos inferiores a 3° por encima del nivel del horizonte (debido a la probabilidad del efecto filtro de vegetación y edificaciones).
- Se consideran carentes de importancia las distancias entre el plano del rotor y el eje de la torre.
- No se toma en cuenta la refacción lumínica en la atmósfera.

⁵⁸ Comité de los Estados Federales para el Control de la Contaminación (2002), *Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen* (Información para establecer y evaluar las emisiones ópticas de las turbinas eólicas).

⁵⁹ Francia, *Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement* (Decreto de 26 de agosto de 2011 sobre instalaciones para la generación de electricidad que usan energía eólica mecánica sujetas a autorización).

⁶⁰ CanWEA (2011), *An Introduction to Wind Energy Development in Canada*.

1.1.5 Calidad del agua

Terrestre

42. La instalación de las plataformas de los aerogeneradores, cables subterráneos, carreteras de acceso y otras infraestructuras auxiliares puede traducirse en una mayor erosión, compactación del suelo, aumento de la escorrentía y sedimentación de las aguas superficiales. Las **Guías generales sobre MASS** y la **Guía sobre MASS para carreteras de peaje** describen las medidas para prevenir y controlar estas cuestiones.

Marítima

43. La instalación de las bases de los aerogeneradores y cables subterráneos puede perturbar el lecho marino e incrementar temporalmente los sedimentos en suspensión en la columna de agua, y disminuir así su calidad y posiblemente perjudicar a las especies marinas y las pesquerías comerciales o recreativas. Además, la instalación de las estructuras marítimas puede traducirse en erosión localizada del lecho marino debido a los cambios en los movimientos del agua. Las **Guías sobre MASS para puertos, zonas portuarias y terminales** contienen orientaciones adicionales sobre la materia.

44. Otras medidas de prevención y control para abordar los impactos sobre la calidad del agua incluyen las siguientes:

- Realizar un proceso de selección del emplazamiento que tenga en cuenta las probabilidades de interferencia de los componentes estructurales del proyecto con las pesquerías comerciales o recreativas y hábitats de las especies marinas.
- Planificar la construcción, la instalación y el desmantelamiento de los componentes estructurales teniendo en cuenta los períodos sensibles para el ciclo de la vida.
- Controlar el uso de técnicas de chorro, de las cortinas de burbujas de aire y de las trampas de sedimentos; realizar esas actividades con el mar en calma (o durante la marea que aleje el material de la ubicación sensible).

1.2 Higiene y seguridad ocupacional

45. Los riesgos para la higiene y la seguridad ocupacional durante la construcción, la operación y el desmantelamiento de las instalaciones de energía eólica en tierra y mar suelen ser parecidos a los que afectan a la mayoría de las instalaciones industriales y proyectos de infraestructura de gran envergadura. Estos pueden incluir riesgos físicos como el trabajo en altura, en espacios cerrados y con maquinaria giratoria, y la caída de objetos. Las **Guías generales sobre MASS** describen las medidas de prevención y control de estos y otros riesgos físicos, químicos, biológicos y radiológicos.

46. Los riesgos para la higiene y la seguridad ocupacional específicos de las instalaciones y actividades de generación de energía eólica incluyen⁶¹:

- trabajo en altura;

⁶¹ La Asociación Británica de Energía Eólica (BWEA) dispone de un conjunto completo de directrices sobre procedimientos laborales seguros durante la construcción, la operación y el mantenimiento de aerogeneradores marítimos en *BWEA Briefing Sheet: Offshore Wind* (2005c).

- trabajo sobre el agua;
- trabajo en lugares remotos;
- operaciones de elevación.

1.2.1 Trabajo en altura y protección contra la caída de objetos

47. Es frecuente que el trabajo en altura se dé en todas las fases de operación en una instalación de un parque eólico, y es especialmente pertinente para fines de mantenimiento. La cuestión principal sobre la que hay que centrarse al gestionar los trabajos en altura es la prevención de caídas. Sin embargo, entre los riesgos adicionales que también hay que tener en cuenta figuran la caída de objetos y las condiciones climáticas adversas (velocidad del viento, temperaturas extremas, humedad en el aire y superficies mojadas). La gestión del trabajo en altura requiere de una planificación adecuada y de la dotación de recursos suficientes. Los métodos de mitigación preferidos pueden incluir, en este orden:

- Eliminar o reducir la necesidad de trabajar en altura. Durante las fases de planificación y diseño de la instalación debe evaluarse cada tarea específica para eliminar la necesidad de trabajar en altura, cuando ello sea posible. Por ejemplo, las tareas de ensamblado de estructuras y la realización de trabajos auxiliares pueden realizarse en superficie y posteriormente procederse a la elevación de la estructura completa para ajustarla en su posición, en la medida en que sea factible y eficaz en función de los costes.
- Si no puede eliminarse por completo el trabajo en altura, debe utilizarse un equipamiento de trabajo u otros métodos que eviten que se produzcan caídas. Antes de recurrir a equipos anti caídas individuales, deben implementarse sistemas de protección colectivos, como protección de bordes o barandillas. Además, para reducir al mínimo las consecuencias de una caída, en el caso de producirse, se pueden utilizar redes de seguridad y colchones de aire.

48. Además de la jerarquía de métodos descritos en los dos puntos anteriores, hay que tomar en cuenta las siguientes cuestiones como métodos para la prevención de incidentes durante el trabajo en altura y de caída de objetos:

- Asegurarse de que todas las estructuras se diseñan y construyen conforme a las normas adecuadas⁶², y de que se dispone de los medios y equipamiento adecuado de sistemas de trabajo en altura.
- Para proteger a los trabajadores contra la caída de objetos, se procederá, siempre que sea posible, al establecimiento y mantenimiento de zonas de exclusión adecuadas en el marco de toda actividad de trabajo en altura.
- Asegurarse de que todos los empleados que trabajan en altura estén capacitados y sean competentes en el uso de todos los sistemas de trabajo en altura y de rescate disponibles.
- Suministrar a cada trabajador un dispositivo apropiado de posicionamiento laboral; asegurarse, además, de que los conectores de los sistemas de posicionamiento sean compatibles con los componentes de la torre a los que se destinan.
- Garantizar que el calibrado y mantenimiento de los equipos elevadores sean los adecuados y que los operadores de estos equipos reciban la capacitación adecuada.

⁶² Por ejemplo, la norma IEC 61400, de la Comisión Electrotécnica Internacional.

- En el trabajo en altura, todas las herramientas y el equipamiento deben estar dotados de un cordón de anclaje, siempre que sea posible, y deben utilizarse sistemas de redes de seguridad si es factible.
- Se retirarán las señales y otros obstáculos de postes y estructuras antes de iniciar las labores.
- Se utilizará una bolsa de herramientas aprobada para elevar o bajar herramientas o materiales hasta los trabajadores en estructuras elevadas.
- No se llevarán a cabo labores de instalación ni de mantenimiento en la torre en condiciones meteorológicas adversas, y especialmente cuando exista el riesgo de relámpagos.
- Debe haber un plan establecido de rescate de emergencia en el que se detallen los métodos que habrán de utilizarse para rescatar a los operarios que pudieran quedar varados o incapacitados mientras realizan su trabajo en altura.

1.2.2 Trabajo sobre el agua

49. Las medidas de prevención y control relativas al trabajo sobre aguas abiertas incluyen los principios básicos anteriormente descritos para el trabajo en altura, y además:

- Realizar una evaluación completa de riesgos para desarrollar un sistema seguro de trabajo para todas las tareas de trabajo sobre el agua, y asignar recursos adecuados para mitigar los riesgos.
- Asegurarse de que todos los operarios están capacitados y son competentes en todas las tareas que se espera que realicen, así como en el uso de todos los equipos, incluido el equipo de protección personal, que se espera que utilicen.
- Además del equipo de protección personal normalizado mencionado en el párrafo precedente, utilizar equipos de flotabilidad aprobados⁶³ (por ejemplo, chaquetas y chalecos salvavidas, ayudas a la flotación, salvavidas circulares) siempre que los trabajadores estén sobre el agua o adyacentes a ésta y exista un riesgo de ahogamiento.
- Cuando quepa la posibilidad de que la exposición a bajas temperaturas del agua suponga la aparición de hipotermia, deben aplicarse medidas de control, como el uso de trajes de supervivencia.
- Cuando se utilicen equipos de flotabilidad con equipos anti caídas para el trabajo en altura, estos sistemas deben ser compatibles.
- Formar a los trabajadores para que eviten la niebla salina y el contacto con olas.
- Permitir la provisión de embarcaciones de rescate adecuadas con operarios y personal de emergencias calificados, de ser necesario.

1.2.3 Trabajo en lugares remotos

50. La planificación es vital para garantizar la seguridad, la salud y el bienestar de los empleados cuando trabajan en lugares remotos, y especialmente en los emplazamientos en el mar. Al planificar el trabajo en lugares remotos, estas son las áreas que hay que tomar en cuenta:

- Idoneidad del equipamiento de comunicaciones disponible para el equipo de trabajo.

⁶³ Por ejemplo, la norma ISO 12402 sobre equipos de flotación individual.

- Capacitación y competencia del personal que trabaja en emplazamientos remotos y disponibilidad en ellos de todos los equipos necesarios para la seguridad.
- Supervisión por parte de personal competente facultado para tomar decisiones en función de los acontecimientos y circunstancias en el lugar de trabajo.
- Disponibilidad de medios que permitan a los encargados conocer la localización exacta del equipo de trabajo.
- Existencia de un plan de emergencia local.
- Inclusión de personal debidamente calificado y capacitado en primeros auxilios en el equipo de trabajo.

51. En las **Guías generales sobre MASS** hay información adicional sobre el trabajo en solitario y aislamiento.

1.2.4 Operaciones de elevación

52. Las operaciones de elevación forman parte integral de los trabajos de construcción de todo parque eólico. Durante la fase de construcción, las piezas habitualmente se ensamblan y transportan hasta el emplazamiento, donde se procede al montaje, lo que supone el empleo de equipos de elevación voluminosos y complejos para izar muchas veces cargas de dimensiones y pesos variables.

53. Los requisitos de las operaciones de elevación durante la construcción de una instalación eólica en tierra son similares a los de cualquier otro proyecto de construcción, sin embargo, cuando se trata de entornos marítimos, esas operaciones entrañan una gran complejidad, y supone el empleo de múltiples embarcaciones y grúas, lo que puede presentar riesgos añadidos, como estados del mar que afecten a la estabilidad de las plataformas de elevación, entornos marinos que aceleren la degradación de los puntos de elevación de los componentes, y problemas de comunicación entre las tripulaciones multinacionales de las distintas embarcaciones que transportan la carga.

54. La gestión de las operaciones de elevación precisa de personal competente, una planificación exhaustiva, una comunicación efectiva y un alto nivel de supervisión al llevarse a cabo la elevación. Deberán tomarse en consideración la áreas siguientes:

- Asegurarse de que se conoce toda la información pertinente sobre la carga, como, por ejemplo, su tamaño, peso, método de eslingado y puntos de sujeción.
- Asegurarse de que todo el equipamiento de elevación (incluidos los puntos de sujeción de la carga) es el idóneo, que es capaz de soportar la carga, que está en buenas condiciones, y que ha superado todas las inspecciones reglamentarias correspondientes.
- Asegurarse de que todos los supervisores, operadores de equipos y encargados de las eslingas están capacitados y son competentes en el uso de los equipos de elevación y en la aplicación de las técnicas de elevación pertinentes.
- Siempre que sea posible, se procederá al establecimiento y mantenimiento de zonas de exclusión para evitar todo acceso no autorizado a las áreas de elevación.
- Cuando se proceda a la elevación de cargas voluminosas, asegurarse de que las condiciones meteorológicas son favorables para la realización de la tarea. Habitualmente, los manuales de instrucciones de los equipos de elevación de cargas pesadas incluyen parámetros de operación

segura: no se excederán en ninguna circunstancia esos parámetros. Las **Guías generales sobre MASS** contienen información adicional sobre condiciones meteorológicas adversas.

55. Se celebrará una reunión de planificación en la que participarán todas las partes involucradas en la operación de elevación y en ella se tratarán, entre otros, los siguientes asuntos: información detallada sobre la operación de elevación, la función de cada una de las partes que participa en la misma y los métodos utilizados para comunicar las instrucciones entre las partes.

1.3 Higiene y seguridad en la comunidad

56. Los riesgos para la higiene y la seguridad de la comunidad durante la construcción, la operación y el desmantelamiento de parques eólicos en tierra y mar suelen ser parecidos a los que afectan a la mayoría de las instalaciones industriales y proyectos de infraestructura de gran envergadura. Estos riesgos pueden referirse a la seguridad estructural de la infraestructura del proyecto, a la seguridad de la vida humana y contra incendios, la accesibilidad pública y situaciones de emergencia. Las **Guías generales sobre MASS** describen su gestión.

57. Los riesgos para la higiene y la seguridad de la comunidad específicos de los parques eólicos incluyen:

- desprendimiento de palas/hielo;
- aviación;
- seguridad para la navegación marítima;
- interferencia electromagnética y radiación;
- acceso público;
- transporte de cargas especiales.

1.3.1 Desprendimientos de palas/hielo

58. La avería de una pala del rotor puede provocar que esta, o alguna de sus piezas, se desprenda, lo que puede afectar a la seguridad pública. En términos generales, el riesgo de que una pala se desprenda es muy reducido⁶⁴. En el caso de acumulación de hielo en las palas, lo que puede suceder en determinadas condiciones meteorológicas de climas fríos, pueden desprenderse trozos de hielo del rotor durante su operación, o caer del aerogenerador cuando gira al ralentí.

59. Los aerogeneradores deben situarse a una distancia aceptable (distancia mínima de seguridad) de los receptores sensibles adyacentes para mantener la seguridad pública en caso de desprendimiento de hielo o de avería de una pala.

60. Entre las estrategias de gestión del riesgo de desprendimiento de palas figuran⁶⁵:

⁶⁴ Health and Safety Executive (HSE) (2013), *Study and Development of a Methodology for the Estimation of the Risk and Harm to Persons from Wind Turbines*, informe de investigación RR968.

⁶⁵ CanWEA (2011).

- Establecer distancias mínimas de seguridad entre los aerogeneradores y lugares poblados. La distancia mínima de seguridad es de 1,5 veces la altura de la turbina (torre más radio del rotor), aunque hay estudios que sugieren que la distancia teórica que recorre una pala desprendida puede variar en función de su tamaño, forma, peso y velocidad y de la altura de la turbina⁶⁶. Por consiguiente, con relación a receptores residenciales sensibles, y para mayor protección, se recomienda aplicar las distancias mínimas de seguridad exigidas para cumplir los requisitos sobre límites acústicos y de parpadeo de sombras -"shadow flicker".
- Minimizar la probabilidad de averías en las palas mediante la selección de aerogeneradores que hayan sido sometidos a una verificación/certificación de diseño independiente (por ejemplo, IEC 61400-1), y a supervisión de la calidad de fabricación.
- Garantizar la instalación y el mantenimiento adecuados de sistemas de protección contra rayos.
- Realizar inspecciones periódicas de las palas y reparar cualquier defecto que pudiera afectar su integridad.
- Equipar los aerogeneradores con sensores de vibración que puedan reaccionar ante cualquier desequilibrio en las palas del rotor y detener la turbina si fuera sea necesario.

61. Entre las estrategias de gestión del riesgo de desprendimiento de hielo figuran:

- Establecer una distancia mínima de seguridad⁶⁷.
- Limitar las operaciones de los aerogeneradores en condiciones meteorológicas que puedan generar la formación de hielo.
- Equipar los aerogeneradores con detectores de hielo para que se detengan y, ante la presencia de hielo, su funcionamiento pase a estado de ralentí.
- Cuando los aerogeneradores tengan que funcionar en condiciones de helada y se encuentren en ubicaciones remotas en las que sea poco probable que se ponga en peligro a las personas, colocar señales de advertencia en todas las direcciones desde el aerogenerador hasta una distancia equivalente al menos al diámetro del rotor.
- Equipar los aerogeneradores con sensores de hielo para controlar los sistemas calefactores de palas, diseñados para que el hielo se desprenda de su superficie, manteniendo así la eficiencia de la turbina; el acabado de la superficie de la pala también puede afectar a la eficiencia de los sistemas de calefacción.
- Colocar señales de advertencia en los puntos de acceso al parque eólico.
- Asegurarse de que los procedimientos laborales incluyan precauciones, como detener los aerogeneradores antes de que el personal de mantenimiento acceda al emplazamiento en condiciones de helada.

62. Además de las implicaciones que tiene su funcionamiento para la salud y la seguridad en climas fríos, es importante que la especificación de las turbinas sea la adecuada para lograr un funcionamiento adecuado y duradero.

⁶⁶ Rogers *et al.* (2011).

⁶⁷ Agencia Internacional de la Energía (2011), *Wind Expert Group Study on Recommended Practices: 13, [Wind Energy Projects in Cold Climates](#)*, primera edición.

1.3.2 Aviación

Seguridad aérea

63. Los extremos de las palas de los aerogeneradores pueden alcanzar, en su punto más alto, alturas de hasta 200 metros y, en el futuro, a medida que evolucione la tecnología, es posible que las superen. Cuando los parques eólicos (incluidas las torres anemométricas) se sitúan cerca de aeropuertos, zonas militares de vuelo a baja altura o rutas conocidas de vuelo, pueden afectar de forma directa la seguridad aérea debido a posibles colisiones o alteraciones de dichas rutas.

64. Las medidas de prevención y control de estos impactos incluyen:

- Consultar a las autoridades aeronáuticas pertinentes antes de proceder a la instalación, de conformidad con las normas de seguridad del tráfico aéreo.
- Siempre que sea posible, evitar que los emplazamientos de parques eólicos se ubiquen en las cercanías de aeropuertos rutas y áreas de vuelo a baja altura conocidas. A la hora de seleccionar el emplazamiento de los aerogeneradores, deberán tenerse en consideración los impactos acumulativos asociados con la cantidad de instalaciones similares existentes en áreas conocidas de vuelo a baja altura, rutas de vuelo o en sus inmediaciones.
- Utilizar sistemas de alumbrado y señalización anticolidión en las torres y/o palas, y consultar a las autoridades aeronáuticas pertinentes para determinar los requisitos correspondientes de alumbrado y señalización que cumplan las normas nacionales. Si no hay normas nacionales al respecto, consúltense las prácticas recomendadas aplicables⁶⁸.

Radar aéreo

65. Los parques eólicos instalados cerca de radares aeronáuticos pueden afectar su funcionamiento al provocar distorsiones en la señal, lo que puede generar pérdidas de la misma, ocultación de objetivos reales y/o señales erróneas en el monitor del radar, y dar así lugar a situaciones que afectan la seguridad aérea⁶⁹. Estos efectos los originan las estructuras físicas de las torres/aerogeneradores y las palas en rotación⁷⁰. También debe tomarse en cuenta, en relación con los impactos acumulativos sobre el radar, la proximidad a instalaciones existentes de generación de energía.

66. Las medidas de prevención y control de estos impactos incluyen:

- Tener en cuenta alternativas de diseño de parques eólicos que incluyan la distribución geométrica, la ubicación de los aerogeneradores y los cambios en las rutas de tráfico aéreo.
- Tener en cuenta las alteraciones en el diseño del radar, incluyendo la reubicación del radar afectado, el bloqueo del mismo en la zona afectada o el uso de sistemas alternativos de radar para cubrir la zona afectada⁷¹.

⁶⁸ Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) (2012); Autoridad de la Aviación Civil (CAA) (2013); Asociación Estadounidense de Energía Eólica (AWEA) (2008); CanWEA (2011).

⁶⁹ Radio Advisory Board of Canada (RABC) y CanWEA (s. f.), *Technical Information and Coordination Process between Wind Turbines and Radio Communication and Radar Systems*.

⁷⁰ Ídem.

⁷¹ Civil Aviation Authority (CAA) (2013), *Policy and Guidelines on Wind Turbines*. CAP 764.

- Debe consultarse con las autoridades aeronáuticas pertinentes para determinar las medidas de prevención y control.

1.3.3 Seguridad para la navegación marítima

Seguridad marítima

67. Al igual que con la seguridad aérea, los aerogeneradores cerca de puertos, muelles o vías de transporte marítimo conocidas pueden afectar la seguridad del transporte marítimo debido a la posibilidad de colisión o alteración del tráfico de embarcaciones. Estos riesgos pueden verse además incrementados por el tráfico adicional de embarcaciones durante la fase de construcción, lo que puede ocasionar daños en los aerogeneradores y/o embarcaciones, así como riesgos de contaminación asociados a las colisiones.

68. Los aerogeneradores marítimos, las rutas de cableado y otras infraestructuras asociadas deben ser objeto de especial consideración en lo que respecta a su emplazamiento, para el que se deben tomar en cuenta factores como las zonas de fondeo, las condiciones del lecho marino, yacimientos arqueológicos, rutas existentes de cableado o tubería, y caladeros de pesca, y reducir al mínimo los impactos, en la medida de lo posible.

69. Los aerogeneradores marítimos pueden interferir con el funcionamiento de los radares empleados para la navegación, lo que impide la detección de embarcaciones, con la posibilidad que ello entraña de afectar las operaciones normales del transporte marítimo.

70. Las medidas de prevención y control de estos impactos incluyen:

- Consultar a las autoridades de regulación del tráfico marítimo antes de proceder a la instalación, y cumplir con las normas de seguridad del tráfico marítimo.
- Siempre que sea posible, se evitará ubicar parques eólicos cerca de puertos y en vías de transporte marítimo conocidas.
- Utilizar sistemas de alumbrado y señalización anticolidión en los aerogeneradores y demás elementos de riesgo. También debe considerarse la posibilidad de emplear buques guardacostas. Los sistemas de alumbrado y marcado deben determinarse con las autoridades marítimas correspondientes.
- Pueden establecerse zonas de seguridad en torno a cada aerogenerador y embarcación de construcción durante la fase de construcción para minimizar los trastornos a otros usuarios del mar.
- Utilizar balizado de referencia para facilitar la navegación.

1.3.4 Interferencia electromagnética

71. Los aerogeneradores pueden provocar interferencias electromagnéticas con sistemas de telecomunicaciones (por ejemplo, microondas, televisión y radio). Esta interferencia se puede ocasionar por obstrucción del trayecto de radio, ensombrecimiento, reflexión, difusión o radiación secundaria⁷². La naturaleza de los impactos potenciales depende mayormente de la ubicación del aerogenerador en

⁷² RABC y CanWEA (s. f.).

relación con el transmisor y el receptor, las características de las palas de rotor, del receptor de frecuencia de señal y de la propagación de las ondas radioeléctricas en la atmósfera local⁷³.

Sistemas de telecomunicaciones

72. Entre los impactos sobre los sistemas de telecomunicaciones figuran los que tienen efecto sobre los sistemas de radiodifusión y los sistemas punto a punto. Las medidas de prevención y control de los impactos en los sistemas de telecomunicaciones incluyen:

- Modificar la colocación de los aerogeneradores para evitar la interferencia física directa de los sistemas de comunicaciones punto a punto. Las consultas con los operadores pertinentes pueden ayudar a establecer la ubicación de los enlaces de telecomunicaciones y los elementos amortiguadores pertinentes que han de aplicarse para minimizar los impactos.
- Instalar una antena direccional.
- Modificar la antena existente.
- Instalar un amplificador para reforzar la señal⁷⁴.

Televisión

73. Las medidas de prevención y control de los impactos sobre la retransmisión televisiva incluyen:

- Ubicar el aerogenerador lejos del alcance visual del transmisor de la emisora.
- Si se detectan interferencias durante las operaciones, instalar una antena direccional o de calidad superior.
- Dirigir la antena hacia un transmisor de retransmisión alternativo.
- Instalar televisión digital.
- Instalar un amplificador.
- Reubicar la antena.

1.3.5 Acceso público

74. Pueden surgir problemas de seguridad relacionados con el acceso público a los aerogeneradores (por ejemplo, la subida no autorizada al mismo) o a la subestación del parque eólico. Antes de proceder a la construcción, hay que identificar toda servidumbre de paso público ubicada en el emplazamiento de la instalación, o en sus proximidades, para tratar de establecer las medidas que sean precisas para garantizar la seguridad de sus usuarios⁷⁵.

75. Las medidas de prevención y control para manejar las cuestiones relativas al acceso público incluyen:

⁷³ Sengupta, D. y T. Senior (1983), *Large Wind Turbine Siting Handbook: Television Interference Assessment. Final Subcontract Report*.

⁷⁴ URS Australia Pty. Ltd. (2004), *Woodlawn Wind Farm Environmental Impact Statement*.

⁷⁵ Unión Europea (2002), *European Best Practise Guidelines for Wind Energy Development*.

- El uso de barreras de control en las carreteras de acceso.
- Cuando se entienda que no debe haber acceso público al emplazamiento y/o no haya derechos de servidumbres de paso vigentes que lo atraviesen, debe considerarse la posibilidad de vallar el emplazamiento del parque eólico, o los aerogeneradores individuales, para prohibir el acceso del público a ellas.
- Instalar un vallado que cumpla la normativa adecuada en torno a la subestación, con pintura anti-trepa y señales de advertencia.
- Impedir el acceso a las escalerillas de la torre del aerogenerador.
- Colocar tableros informativos en los que se alerte sobre los riesgos para la seguridad pública y con datos de contacto en caso de emergencia.

1.3.6 Transporte de cargas especiales

76. Las **Guías generales sobre MASS** y la **Guía sobre MASS para carreteras de peaje** cubren en gran medida las cuestiones que en materia de tráfico y transporte hay que tomar en consideración en relación con el emplazamiento de parques eólicos. El principal reto que se afronta en estas instalaciones consiste en el transporte hasta el emplazamiento de los componentes de los aerogeneradores, pesados y de gran tamaño, como las palas, los tramos de la torre de la turbina, la góndola y los transformadores, así como las grúas. En el estudio de la logística, el tráfico y el transporte deben evaluarse los impactos sobre las calzadas, puentes, pasos sobre sistemas de alcantarillado, pasos elevados/subterráneos, radios de giro y servicios públicos existentes fuera del emplazamiento, así como si serán necesarios el reemplazo, la mejora o el reasentamiento de superficies. Para evitar retrasos a otros usuarios de las carreteras y la posibilidad de que se produzcan otras molestias a las comunidades locales existentes en las proximidades de la ruta propuesta, las entregas deben programarse fuera de las horas pico y deben utilizarse exclusivamente rutas de acceso aprobadas, proporcionarse sistemas para la gestión del tránsito para detener otro tráfico donde sea preciso (por ejemplo, en localidades donde puedan producirse embotellamientos) y proporcionar escolta policial en caso necesario.

2. SEGUIMIENTO DE LOS INDICADORES DEL DESEMPEÑO

2.1 Medio ambiente

2.1.1 Guías sobre emisiones y efluentes

77. La operación de parques eólicos no suele generar emisiones y efluentes. Los valores de referencia para las emisiones y efluentes de proceso en este sector son indicativos de la buena práctica industrial internacional, según se refleja en las normas pertinentes de los países que disponen de marcos normativos al respecto. Las **Guías generales sobre MASS** describen las emisiones a la atmósfera, descargas de aguas residuales y residuos sólidos relacionados con las actividades de construcción y desmantelamiento.

2.1.2 Seguimiento del ruido

78. Los impactos acústicos no deben superar los niveles indicados en las **Guías generales sobre MASS**.

79. El ruido generado por los parques eólicos tiende a aumentar con la velocidad del viento, al igual que el ruido de fondo general aumenta con la fricción del aire con los elementos existentes en el paisaje. Una velocidad superior del viento también puede enmascarar el ruido emitido por la propia instalación, mientras que la velocidad y dirección del viento pueden afectar la dirección y el alcance de la propagación del ruido. Por lo tanto, la aplicación de valores de referencia para el ruido y la evaluación de los niveles de ruido de fondo tendrán en cuenta estos factores. Se considera una buena práctica, con la entrada en servicio del proyecto, la realización de pruebas de conformidad acústica mediante las que se verifiquen los niveles de ruido teóricamente previstos en propiedades cercanas y se confirme la adecuación de todas las medidas de mitigación aplicadas⁷⁶.

80. También puede ser preciso considerar adicionalmente cómo abordar el factor de molestia asociado con las características impulsivas o tonales del ruido (los sonidos con una frecuencia específica) emitido por las configuraciones de ciertos parques eólicos⁷⁷.

2.1.3 Seguimiento ambiental

81. Se llevarán a cabo programas de seguimiento ambiental para este sector en todas las actividades que se determine que pueden generar un impacto significativo en el medio ambiente, tanto durante las operaciones normales como en condiciones adversas. Las actividades de seguimiento ambiental se basarán en indicadores directos e indirectos de emisiones, efluentes y uso de recursos aplicables al proyecto concreto.

82. El seguimiento deberá estar a cargo de personal cualificado, que deberá aplicar los procedimientos de seguimiento y registro, y utilizar equipos sometidos a un correcto calibrado y mantenimiento. Las **Guías generales sobre MASS** contienen orientaciones adicionales sobre los métodos de muestreo y análisis de emisiones y efluentes.

2.1.4 Seguimiento de la biodiversidad durante la fase operacional

83. El seguimiento de la diversidad biológica durante la fase operacional (es decir, el seguimiento posterior a la construcción) es fundamental para i) confirmar la mortalidad prevista entre aves o murciélagos y registrar mortalidades no previstas, ii) posibilitar la gestión adaptativa de los parques eólicos, iii) mejorar la previsión de los impactos de la instalación de aerogeneradores adicionales en la misma zona geográfica, y iv) incrementar el conocimiento científico para proyectos futuros similares. El alcance y el diseño de los programas de seguimiento de la diversidad biológica durante la fase operacional deben fundarse en los riesgos específicos del emplazamiento, las especies y la estacionalidad, según se determinaron durante los estudios de referencia, las evaluaciones del impacto y/o las evaluaciones de riesgo de colisión.

84. El diseño de los programas de seguimiento debe permitir la medición de la tasa y composición taxonómica de la mortalidad de aves y murciélagos que se produce en el parque eólico, así como la eficacia de las medidas de mitigación, en especial las estrategias de limitación de las operaciones y de los procedimientos de cierre a demanda (shut-down) de los aerogeneradores, además de otras medidas experimentales de mitigación. A partir de un modelo de gestión adaptativa, la implementación de las

⁷⁶ Para los procedimientos de medición, véase Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) (2012), Norma IEC 61400-11, *Wind Turbines – Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques*.

⁷⁷ Algunas jurisdicciones aplican una “penalización” de 5 dB(A) que se añade a los niveles previstos.

medidas de mitigación se puede ir incrementando, reduciendo o eliminando, en función de su eficacia demostrada. Los programas de seguimiento deben centrarse en las especies que susciten mayor preocupación, conforme a lo definido en la evaluación previa a la construcción⁷⁸.

85. Por lo general, se espera que la evaluación de los impactos referidos a los riesgos de colisión de aves y murciélagos en parques eólicos en tierra incluyan, en la fase posterior a la construcción, la búsqueda, en el entorno de la instalación, de la siniestralidad y restos de aves y murciélagos. En función del tipo y la variedad de riesgos para la diversidad biológica en el parque eólico, esas búsquedas habrán de realizarse durante un mínimo de uno a tres años después de la entrada en servicio de la instalación y, en caso necesario, podría ampliarse a plazos superiores en entornos de mayor riesgo.

86. Para garantizar que los resultados estimados de mortalidad de aves y murciélagos en la instalación sean precisos y concluyentes, la búsqueda y evaluación de restos en la fase posterior a la construcción habrá de incorporar elementos vigentes de diseño científico^{79, 80, 81} como los que se enuncian a continuación: 1) factor de corrección en la eficiencia del buscador (detección de restos), 2) factor de corrección por desaparición de restos atraídos por animales carroñeros, 3) factor de corrección por zonas en las que no se realizan búsquedas, 4) selección de la frecuencia adecuada de búsqueda de restos según la mortalidad prevista y tasas de detracción por carroñeros⁸², 5) selección de la sub muestra de aerogeneradores en las que hay que buscar, según corresponda, en función del tamaño del proyecto y de las tasas de mortalidad previstas, 6) selección del tamaño de la zona de búsqueda y configuración de los aerogeneradores busca muestrear en función del sustrato de búsqueda y de consideraciones analíticas.

87. En determinadas circunstancias, y para complementar los datos recopilados en las búsquedas de restos, la supervisión posterior a la construcción también puede incluir estudios adicionales sobre patrones de usos y desplazamientos de aves y murciélagos en la zona del proyecto.

88. Cuando en una misma zona geográfica y en las proximidades de áreas de elevado valor en términos de diversidad biológica se concentren múltiples parques eólicos, se recomienda a los promotores que apliquen procedimientos comunes de supervisión posterior a la construcción para que los resultados se puedan evaluar de forma acumulativa. Un mecanismo común para el intercambio de datos e informes facilitaría este proceso.

89. También se anima a los promotores de proyectos eólicos a que pongan a disposición de las partes interesadas los resultados de la supervisión posterior a la construcción.

90. Las instalaciones marítimas de energía eólica deben supervisarse tanto temporal como espacialmente atendiendo a parámetros que engloben a los organismos bentónicos, los mamíferos y los

⁷⁸ Véase el segundo punto del párrafo 27.

⁷⁹ Véase Ledec (2011), apéndice D.

⁸⁰ Korner-Nievergelt, F. *et al.* (2013), "Estimating Bat and Bird Mortality Occurring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models", *PLoS One* 8(7): e67997. doi:10.1371/journal.pone.0067997.

⁸¹ Huso, M. M. P. y D. Dalthorp (2014), "Accounting for Unsearched Areas in Estimating Wind Turbine-caused Fatality", *Journal of Wildlife Management* 78, pp. 347-358.

⁸² Camiña, Á. (2012), "Bat Fatalities at Wind Farms in Northern Spain — Lessons to Be Learned", Museo e Instituto de Zoología, *Acta chiropterologica* 4(1), pp. 205-212.

peces. Los parámetros pueden incluir la infauna (sedimentos y comunidades de infauna), el hábitat del sustrato duro, los peces, el lanzón (especie indicadora de cambios en las características del sedimento), aves y murciélagos, y mamíferos marinos.

2.2 Higiene y seguridad ocupacional

2.2.1 Guías sobre higiene y seguridad ocupacional

91. Para evaluar el desempeño en materia de higiene y seguridad en el trabajo deben utilizarse las estadísticas sobre incidentes que se publican en el ámbito internacional, si se dispone de ellas. Entre los métodos habituales para evaluar el desempeño de una organización figuran:

- Registrar todos los incidentes que tengan lugar durante toda la implementación del proyecto.
- Registrar datos sobre incidentes que casi desencadenan un accidente (denominados también cuasi accidentes) durante el proyecto para identificar tendencias y aplicar mejoras.
- Realizar auditorías de trabajadores y lugares de trabajo para evaluar la eficacia de los sistemas de gestión de riesgos y la cultura de seguridad en el trabajo.
- Realizar con los trabajadores actividades de consulta y comunicación a través de cuestionarios o reuniones periódicas sobre seguridad.
- Comparar los datos específicos de la organización con los publicados específicamente sobre la industria, si están disponibles.

2.2.2 Tasas de muertes y accidentes

92. La gestión del proyecto debe estar orientada a reducir a cero el número de accidentes entre los trabajadores del proyecto (ya sean empleados directos o personal subcontratado), especialmente los accidentes que pueden causar la pérdida de horas de trabajo, diversos niveles de discapacidad e incluso la muerte. Como punto de referencia para evaluar las tasas de accidentes del proyecto, puede utilizarse el desempeño de instalaciones similares en este sector en países desarrollados a través de la consulta de fuentes publicadas.

2.2.3 Seguimiento de la higiene y la seguridad ocupacional

93. Es preciso realizar un seguimiento continuado de los riesgos que pueden correr los trabajadores en el entorno laboral del proyecto concreto. Las actividades de seguimiento deben ser diseñadas y realizadas por profesionales acreditados⁸³ como parte de un programa de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo. En las instalaciones, además, debe llevarse un registro de los accidentes y las enfermedades laborales, así como de los sucesos y accidentes peligrosos. Las **Guías generales sobre MASS** contienen orientaciones adicionales sobre los programas de seguimiento de la higiene y la seguridad en el trabajo.

⁸³ Entre los profesionales acreditados se puede incluir a higienistas industriales certificados, higienistas ocupacionales diplomados, o profesionales de la seguridad certificados o su equivalente.

3. REFERENCIAS

Agencia Estadounidense de Protección del Medio Ambiente (EPA) (2010), *Guidance Note on Noise Assessment of Wind Turbine Operations at EPA Licensed Sites (NG3)*.

Agencia Internacional de la Energía (2011), *Wind Expert Group Study on Recommended Practices: 13. Wind Energy Projects in Cold Climates*, primera edición. <https://ieawind.org/index_page_postings/June%207%20posts/task%2019%20cold_climate_%20rp_approved05.12.pdf>

Arnett, E. B. (2011), "Altering Turbine Speed Reduces Bat Mortality at Wind-Energy Facilities", *Frontiers in Ecology and the Environment* 9(4), pp. 209-214.

Asociación Australiana de Energía Eólica (AusWEA) (2002), *Best Practice Guidelines for Implementation of Wind Energy Projects in Australia*.

——— (2004a), *Wind Farm Safety in Australia. Fact Sheet*.

——— (2004b), *The Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Field Implications for Wind Farms in Australia. Fact Sheet*.

Asociación Británica de Energía Eólica (BWEA) (1994), *Best Practice Guidelines for Wind Energy Development*.

——— (2005a), *Guidelines for Health and Safety in the Wind Energy Industry*.

——— (2005b), *BWEA Briefing Sheet: Wind Turbine Technology*.

——— (2005c), *BWEA Briefing Sheet: Offshore Wind*.

——— (2005d), *BWEA Briefing Sheet: Wind Power and Intermittency: The Facts*.

Asociación Canadiense de Energía Eólica (CanWEA) (2011), *An Introduction to Wind Energy Development in Canada*. <www.canwea.ca/pdf/canwea-sitingreport-e.pdf>

Asociación Estadounidense de Energía Eólica (AWEA) (2008), *Wind Farm Siting Handbook*.

——— (2010), *Airspace, Radar, and Wind Energy*.

Asociación Europea de Energía Eólica (EWEA) (2002), *European Best Practice Guidelines for Wind Energy Development*.

——— (2009), *Oceans of Opportunity: Harnessing Europe's Largest Domestic Energy Resource*.

Asociación Nacional de Comisionados de Servicios Públicos (2011), *Best Practices Guidelines for Assessing Sound Emissions from Proposed Wind Farms and Measuring the Performance of Completed Projects*.

Asociación Internacional de Ayuda Marítima para Autoridades de Navegación y Faros (IALA) (2004), *IALA Recommendation O-117 on the Marking of Offshore Windfarms*, segunda edición.

- Asociación Irlandesa de Energía Eólica (2012), *Wind Energy Development Best Practice Guidelines*.
- Autoridad de la Aviación Civil (CAA) (2013), *Policy and Guidelines on Wind Turbines (CAP 764)*.
- (2012), *Lighting and Marking of Wind Farms and Meteorological Masts*.
- Baerwald, E. F., G. H. D'Amours, B. J. Klug, R. M. R. Barclay (2008), "Barotrauma Is a Significant Cause of Bat Fatalities at Wind Turbines", *Current Biology* 18:R695–R696.
- Band, B. (2012), *Using a Collision Risk Model to Assess Bird Collision Risks for Offshore Wind Farms*. British Trust for Ornithology.
- Bombace, G. (1997), "Protection of Biological Habitats by Artificial Reefs", en Jensen, A.C. (comp.), *European Artificial Reef Research Proceedings*, Primera conferencia EARRN, Ancona, Italia, marzo de 1996.
- Bowdler, D. y G. Leventhall (comps.) (2011), *Wind Turbine Noise*, Brentwood, Essex: Multi-Science Publishing.
- Brett Lane y Asociados (2005), *Interim Standards for Assessing Risks to Birds from Wind Farms in Australia*, AusWEA.
- Camiña, Á. (2012), Bat Fatalities at Wind Farms in Northern Spain — Lessons to Be Learned, *Acta Chiropterologica* 14(1), pp. 205-212.
- Camphuysen, K. (2004), *Towards Standardized Seabirds at Sea Census Techniques in Connection with Environmental Impact Assessments for Offshore Wind Farms in the U.K.*, Collaborative for Offshore Wind Research Into the Environment (COWRIE).
- Cape Wind Associates, LLC (CWA) (2004), *Cape Wind Energy Project Draft Environmental Impact Statement*.
- Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) (2012), Norma IEC 61400-11, *Wind Turbines – Part 11: Acoustic Noise Measurement Techniques*.
- Comisión Europea (CE) (2011), *La energía eólica y la Red Natura 2000*, documento de orientación.
- Comisión OSPAR (2008), *Guidance on Environmental Considerations for Offshore Wind Farm Development*.
- Comité Conjunto para la Conservación de la Naturaleza (JNCC) (2010), *The Protection of Marine European Protected Species from Injury and Disturbance*, octubre de 2010.
- Comité de los Estados Federales para el Control de la Contaminación (2002), *Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der optischen Immissionen von Windenergieanlagen* (Información para establecer y evaluar las emisiones ópticas de las turbinas eólicas). <www.gewerbeaufsicht.niedersachsen.de/>
- Comité para el Estudio de la Interacción Aviar con las Líneas Eléctricas (APLIC) (2012), *Reducing Avian Collisions with Power Lines: The State of the Art in 2012*, Edison Electric Institute y APLIC, Washington, DC.

- Condado de Contra Costa (California) (1996), Código Municipal (*Wind Energy Conversion Systems*), artículo 88-3, sección 612.
- Consejo Nacional de Salud e Investigación Médica del Gobierno de Australia (2010), *Wind Turbines and Health*. <www.nhmrc.gov.au/guidelines-publications/eh57>
- Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB), “Estrategias y planes de acción nacionales en materia de diversidad biológica” (EPANDB) [en línea]. <<http://www.cbd.int/nbsap/search/default.shtml>>
- Corporación Financiera Internacional (IFC) (2012), *Norma de Desempeño 6*.
- (2012), *Norma de Desempeño 8, Patrimonio Cultural*.
- (2013), *Manual de Buena Práctica: Evaluación y Gestión de Impactos Acumulativos: Guía para el Sector Privado en Mercados Emergentes*.
- Drewitt, A. L. y H. W. Langston (2006), “Assessing the Impacts of Wind Farms on Birds”, *Ibis* 148, pp. 29-42.
- Duff, K. y M. Steward (2008), “Turbine Carcass Search Methods and Carcass Removal Trials at the Braes of Doune Wind Farm”, *Natural Research Technical Information Note 4*.
- Elsam Engineering A/S (2005), *Elsam Offshore Wind Turbines—Horns Rev Annual Status Report for the Environmental Monitoring Program*, 1 de enero a diciembre 2004.
- Environment Canada (2005), *Wind Turbines and Birds—A Guidance Document for Environmental Assessment*, borrador final, Servicio de Pesca y Fauna Silvestre de Canadá.
- Erickson, W. P. (2009), *Avian and Bat Monitoring Plan for Martinsdale Wind Farm*, Western Ecosystems Technology Inc.
- Estado de Wisconsin (2003), *Draft Model Wind Ordinance for Wisconsin*.
- EUROCONTROL (2010), *EUROCONTROL Guidelines on How to Assess the Potential Impact of Wind Turbines on Surveillance Sensors*.
- Francia, “Code de la Santé Publique Livre III: Protection de la santé et environnement, Titre III: Prévention des risques sanitaires liés à l'environnement et au travail, Chapitre IV: Lutte contre la présence de plomb ou d'amiante et contre les nuisances sonores, Article R1334-30 et suivants: Créé par Décret n° 2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage et modifiant le code de la santé publique 2006”, *Journal Officiel*, 1 de septiembre de 2006.
- Francia, *Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement*.
- Gardner, P., J. Phillips, O. Fitch-Roy y P. Reynolds (2013), *A Guide to UK Offshore Wind*.
- Gehring, J. L., P. Kerlinger y A. M. Manville II (2009), “Communication Towers, Lights, and Birds: Successful Methods of Reducing the Frequency of Avian Collisions”, *Ecological Applications* 19, pp. 505-514.

- General Electric Energy (2006), "Ice Shedding and Ice Throw – Risk and Mitigation".
- Gipe, P. B. (1995), *Wind Energy Comes of Age*, Nueva York: John Wiley e Hijos.
- Good, R. E., A. Merrill, S. Simon, K. L. Murray y K. Bay (2012), *Bat Monitoring Studies at the Fowler Ridge Wind Farm, Benton County, Indiana*, informe final: 1 de abril a 31 de octubre, preparado por Fowler Ridge Wind Farm, Bloomington: Western EcoSystems Technology, Inc.
- Health and Safety Executive (HSE) (2013), *Study and Development of a Methodology for the Estimation of the Risk and Harm to Persons from Wind Turbines*, informe de investigación RR968.
- Hötker, H., K. M. Thomsen y H. Jeromin (2006), *Impacts on Biodiversity of Exploitation of Renewable Energy Sources: The Example of Birds and Bats – Facts, Gaps in Knowledge, Demands for Further Research, and Ornithological Guidelines for the Development of Renewable Energy Exploitation*, Bergenhusen: Michael-Otto-Institut im NABU.
- Houck, D. R., M. J. Lawson, R. W. Thresher (2012), *A Computational and Analytical Study of Bats Flying near Wind Turbines: Implications Regarding Barotrauma*, presentación oral ante el Comité Nacional de Coordinación Eólica, IX Reunión de Investigación sobre Fauna y Viento, 27 al 30 de noviembre de 2012, Denver, Colorado, EE. UU.
- Howe, B., B. Gastmeier y N. McCabe (2007), *Wind Turbines and Sound: Review and Best Practise Guidelines*. HGC Engineering: Mississauga, Ontario.
- Hundt, L. (2012), *Bat Surveys: Good Practice Guidelines*, segunda edición, Bat Conservation Trust.
- Huso, M. M. P. y D. Dalthorp (2014), "Accounting for Unsearched Areas in Estimating Wind Turbine-caused Fatality", *Journal of Wildlife Management* 78, pp. 347-358.
- Instituto Británico de Gestión y Evaluación Ambiental (IEMA) y Landscape Institute (LI) (2013), *Guidelines for Landscape and Visual Impact Assessment*, tercera edición.
- Instituto de Acústica (IOA) (2013), *A Good Practice Guide to the Application of ETSU-R-97 for the Assessment and Rating of Wind Turbine Noise*.
- Jackson, D. y P. Whitfield (2011), "Guidance on Survey and Monitoring in Relation to Marine Renewables Deployments in Scotland", *Birds*, volumen 4. <<http://www.snh.gov.uk/docs/A585081.pdf>>
- Jenkins, A. R., C. S. van Rooyen, J. J. Smallie, J. A. Harrison, M. Diamond y H. A. Smit (2013), *Best Practice Guidelines for Avian Monitoring and Impact Mitigation at Proposed Wind Energy Development Sites in Southern Africa*.
- Johnson, G. D., D. P. Young, W. P. Erickson, C. E. Derby, M. D. Strickland, R. E. Good y J. W. Kern (2000), *Wildlife Monitoring Studies. Seawest Windpower Plant, Carbon County, Wyoming, 1995-1999*, informe final preparado por la SeaWest Energy Corporation, San Diego, California, y la Oficina de Gestión de la Tierra, Rawlins, Wyoming, Cheyenne: Western EcoSystems Technology, Inc.
- Kerlinger, P., J. L. Gehring, W. P. Erickson, R. Curry, A. Jain, J. Guarnaccia (2010), "Night Migrant Fatalities and Obstruction Lighting at Wind Turbines in North America", *The Wilson Journal of Ornithology* 122, pp. 744-754.

- Köller, J., J. Köppel, W. Peters, (comps.) (2006), *Offshore Wind Energy: Research on Environmental Impacts*, Berlín.
- Korner-Nievergelt, F., R. Brinkman, I. Niermenn y O. Behr (2013), *Estimating Bat and Bird Mortality Occurring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models*. *PLoS One* 8(7): e67997. doi:10.1371/journal.pone.0067997.
- Laakso, T., I. Baring-Gould, M. Durstewitz, R. Horbaty, A. Lacroix, E. Peltola, G. Ronsten, L. Tallhaug y T. Wallenius (2003), *State-of-the-Art of Wind Energy in Cold Climates*, VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie.
- Landscape Institute (2011), *Advice Note: Photography and Photomontage in Landscape and Visual Assessment*.
- Ledec, G. C., K. W. Rapp y R. G. Aiello (2011), *Greening the Wind: Environmental and Social Considerations for Wind Power Development*, Banco Mundial. <<http://elibrary.worldbank.org/content/book/9780821389263>>
- Lowther, S. (2000), *The European Perspective: Some Lessons from Case Studies*. Proc. National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, CA, mayo de 1998, National Wind Coordinating Committee, Washington, DC.
- Maclean, I. M. D., L. J. Wright, D. A. Showler y M. M. Rehfisch (2009), *A Review of Assessment Methodologies for Offshore Windfarms*, British Trust for Ornithology, por encargo de Collaborative for Offshore Wind Research Into the Environment (COWRIE). <<http://www.thecrownestate.co.uk/media/5884/ei-km-ex-pc-method-052009-a-review-of-assessment-methodologies-for-offshore-windfarms.pdf>>
- Maclean, I. M. D., H. Skov, M. M. Rehfisch y W. Piper (2006), *Use of Aerial Surveys to Detect Bird Displacement by Offshore Windfarms*, BTO, informe de investigación n.º 446 para COWRIE, BTO, Thetford.
- Maritime and Coastguard Agency (2008), *Offshore Renewable Energy Installations (OREIs) - Guidance on U.K. Navigational Practice, Safety, and Emergency Response Issues*
- (2012), *Offshore Renewable Energy Installations: Impacts on Shipping*.
- Masden E. A., D. T. Haydon, A. D. Fox, R. W. Furness (2010), "Barriers to Movement: Modelling Energetic Costs of Avoiding Marine Wind Farms amongst Breeding Seabirds", *Marine Pollution Bull* 60, pp. 1085-1091.
- Masden, E. A., D. T. Haydon, A. D. Fox, R. W. Furness, R. Bullman y M. Desholm (2009), "Barriers to Movements: Impacts of Wind Farms on Migrating Birds", *ICES Journal of Marine Science* 66, pp. 746-753.
- McLaughlin, D. (2012), "Wind Shear and Its Effect on Wind Turbine Noise Assessment", *Acoustics Bulletin*, julio-agosto de 2012, pp. 39-42.
- Minnesota Department of Commerce: Energy Facility Permitting (2011), *International Review of Policies and Recommendations for Wind Turbine Setbacks from Residences: Setbacks, Noise, Shadow Flicker, and Other Concerns*.

National Wind Coordinating Collaborative (NWCC) (1999), *Methods for Studying Energy/Bird Interactions. A Guidance Document.*

———, Siting Committee (2002), *Permitting of Wind Energy Facilities. A Handbook.*

——— (2007), *Mitigation Toolbox.*

Nedwell, J., J. Langworthy y D. Howell (2003), *Assessment of Sub-Sea Acoustic Noise and Vibration from Offshore Wind Turbines and Its Impact on Marine Wildlife; Initial Measurements of Underwater Noise during Construction of Offshore Wind Farm, and Comparison with Background Noise*, COWRIE, informe 544 R 0424 (mayo de 2003), Subacoustech Ltd.: Southampton, Reino Unido.

Ontario, Ministerio de Medio Ambiente (2004), *Interpretation for Applying MOE Technical Publication to Wind Turbine Generators.*

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), anexo 14, volumen 1.

Patrimonio Nacional de Escocia (SNH) (2000), *Guidance: Wind Farms and Birds – Calculating Theoretical Collision Risk Assuming No Avoiding Action.*

——— (2002), *Visual Assessment of Windfarms: Best Practice.*

——— (2009), *Siting and Designing Windfarms in the Landscape.*

——— (2012), *Assessing the Cumulative Impact of Onshore Wind Energy Developments.* <<http://www.snh.gov.uk/docs/A675503.pdf>>

——— (2014), *Guidance Note – Recommended Bird Survey Methods to Inform Impact Assessment of Onshore Wind Farms.*

Pearce-Higgins, J. M (2009), “Distribution of Breeding Birds around Upland Wind Farms”, *Journal of Applied Ecology.*

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, Serbia) (2010), *Guidelines on the Environmental Impact Assessment for Wind Farms.*

Radio Advisory Board of Canada (RABC) y Asociación Canadiense de Energía Eólica (CanWEA), *Technical Information and Coordination Process between Wind Turbines and Radio Communication and Radar Systems.*

Recursos Naturales de Canadá (2003), *Environmental Impact Statement Guidelines for Screenings of Inland Wind Farms under the Canadian Environmental Assessment Act.*

Reino Unido, Ministerio de Comercio, Empresa y Reforma Regulatoria (Department for Business, Enterprise, and Regulatory Reform, BERR) (2008), *Review of Cabling Techniques and Environmental Effects Applicable to the Offshore Wind Farm Industry.* Informe técnico.

Renewable U.K. (2013), *Guidance on Low-Flying Aircraft and Onshore Tall Structures Including Anemometer Masts and Wind Turbines.*

- Rodrigues, L., L. Bach, M. J. Dubourg-Savage, J. Goodwin y C. Harbusch (2014), "Guidelines for Consideration of Bats in Wind Farm Projects", *EUROBATS Publication Series N.º 6* (edición inglesa), Secretaría de UNEP/EUROBATS, Bonn, Alemania. <http://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/publications/publication_series/pubseries_no6_english.pdf>
- Rollins, K. E., D. K. Meyerholz, G. D. Johnson, A. P. Caparella, S. S. Loew (2012), "A Forensic Investigation into the Etiology of Bat Mortality at a Wind Farm: Barotrauma or Traumatic Injury?", *Veterinary Pathology* 49, pp. 362-371.
- Scottish Enterprise and The Crown Estate (2013), *A Guide to UK Offshore Wind Operations and Maintenance*. <<http://www.scottish-enterprise.com/knowledge-hub/articles/guide/offshore-wind-operations-and-maintenance-opportunities>>
- Sengupta, D. y T. Senior (1983), *Large Wind Turbine Siting Handbook: Television Interference Assessment. Final Subcontract Report*.
- Servicio de Pesca y Fauna Silvestre de Estados Unidos (2012), *Land-based Wind Energy Guidelines*.
- Smallwood, K. S., D. A. Bell, S. A. Snyder y J. E. Didonato (2010), "Novel Scavenger Removal Trials Increase Wind-Turbine Caused Avian Fatality Estimates", *Journal of Wildlife Management* 74(5), pp.1089-1097, DOI: 10.2193/2009-266.
- Strickland, D., E. Arnett, W. Erickson, D. Johnson, G. Johnson, M. Morrison, J. Shaffer y W. Warren-Hicks (2011), *Comprehensive Guide to Studying Wind Energy/Wildlife Interactions*, preparado para National Wind Coordinating Collaborative, Washington, DC.
- Subacoustech, informe 534R1231, octubre de 2007.
- Unidad de Apoyo a la Tecnología Energética (ETSU) para el Departamento de Comercio e Industria (DTI), Reino Unido (1997), *The Assessment and Rating of Noise from Wind Farms*, informe ETSU-R-97.
- Unión Europea (2002), *European Best Practise Guidelines for Wind Energy Development*.
- URS (URS Australia Pty. Ltd.) (2004), *Woodlawn Wind Farm Environmental Impact Statement*.
- Walls, R., C. Pendlebury, R. Budgey, K. Brookes y P. Thompson (2009), *Revised Best Practice Guidance for the Use of Remote Techniques for Ornithological Assessment at Offshore Wind Farms*, COWRIE.
- Westerberg, H. (1999), *Impact Studies of Sea-based Windpower in Sweden*, Technische Eingriffe in Marine Lebensraume.
- Winkelman, J. E. (1995), *Bird/Wind Turbine Investigations in Europe*, Proc. of National Avian-Wind Planning Meeting, Denver, CO, julio de 1994.

ANEXO A. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS ACTIVIDADES DE LA INDUSTRIA

94. Las instalaciones de energía eólica se basan en el aprovechamiento del viento natural y su conversión en energía eléctrica. Estas instalaciones se sitúan en emplazamientos tanto terrestres como marítimos. El factor primordial que determina la factibilidad y viabilidad del emplazamiento de un parque eólico es la presencia de buenos recursos eólicos. Se realiza una evaluación de rendimiento energético para valorar la producción prevista de energía y los consiguientes beneficios. Otros factores significativos a la hora de decidir si una ubicación es el emplazamiento idóneo son los impactos ambientales y sociales, el costo de construcción y operación, los acuerdos que se alcancen sobre la venta de electricidad a precios comercialmente razonables y el acceso a una conexión a la red con la capacidad adecuada.

95. Como sucede con otros sectores industriales, el ciclo de vida de un proyecto de energía eólica consiste en una evaluación de los recursos eólicos, una evaluación del impacto ambiental y social, y las fases de construcción, operación, mantenimiento y desmantelamiento. Las actividades normalmente asociadas con la fase de construcción incluyen la construcción o renovación de carreteras de acceso, preparación del emplazamiento (como la construcción de pistas de acceso y bases de los aerogeneradores), y transporte e instalación de los componentes del proyecto (por ejemplo, anemómetros, turbinas, transformadores, subestaciones). Las actividades de desmantelamiento dependen del uso posterior propuesto para el emplazamiento, aunque suelen consistir en la retirada de infraestructura (por ejemplo, aerogeneradores, subestaciones, carreteras) y la reposición del emplazamiento del proyecto a su estado previo. La siguiente sección proporciona una descripción de las instalaciones y actividades comunes a la construcción y operación de las instalaciones eólicas en tierra y mar.

A.1 Instalaciones y actividades comunes a las instalaciones de energía eólica

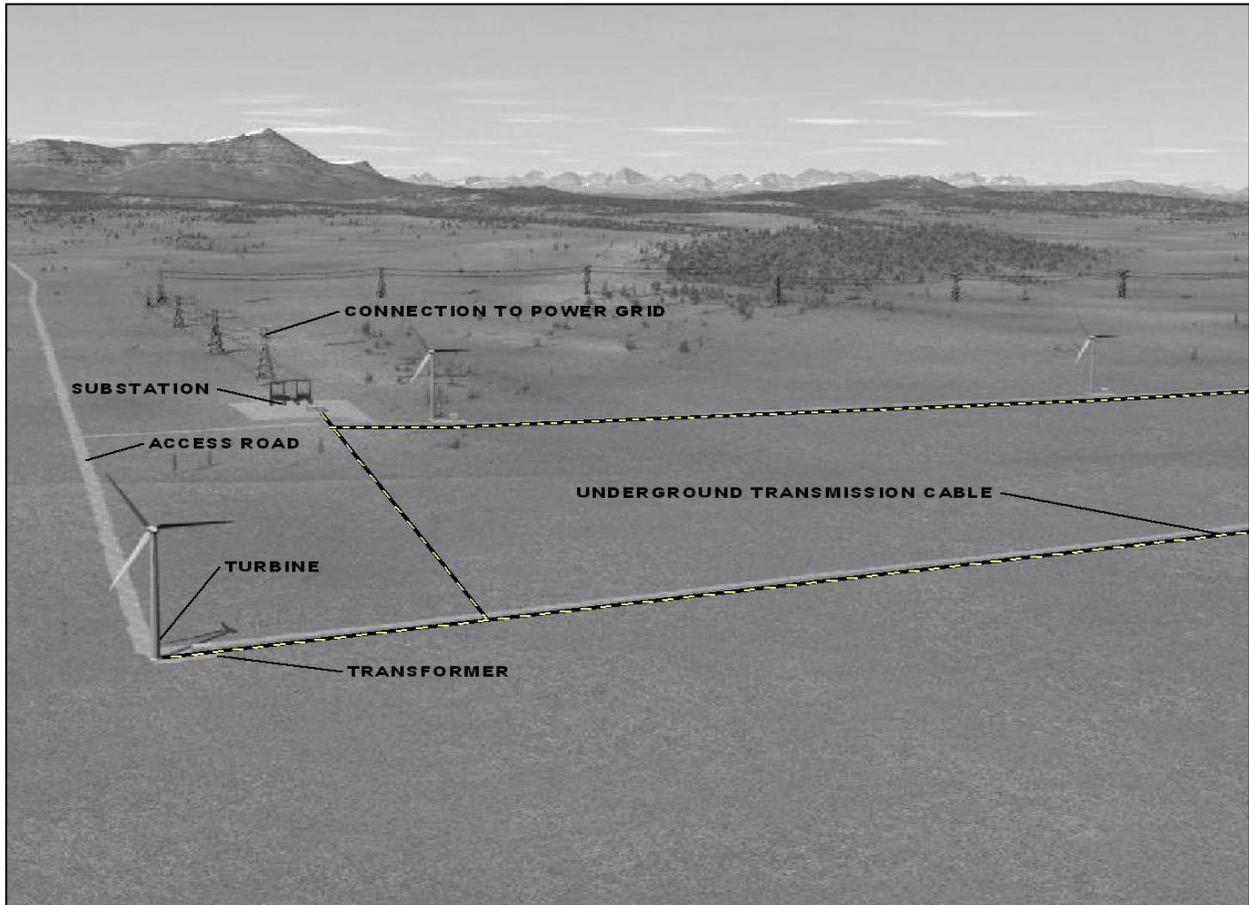
96. Los elementos estructurales de un proyecto de energía eólica incluyen aerogeneradores, transformadores, cables subterráneos o en superficie, colectores de transmisión entre aerogeneradores, subestaciones y líneas de transmisión sobre el nivel del suelo para conectar a una red eléctrica existente, y carreteras de acceso (gráfico A-1). Los aerogeneradores se colocan espaciados para maximizar el rendimiento energético a la vez que se minimiza el uso del espacio.

97. El generador de la turbina eólica es el componente fundamental en este tipo de proyectos y el responsable de aprovechar la energía eólica y convertirla en energía eléctrica útil. El incremento del diámetro del rotor y de la altura de la torre se ha traducido en un aumento en la capacidad generadora y en la eficiencia.

98. La turbina consta de una base, torre, góndola, palas de rotor, cabeza de rotor y luces (gráfico A-2).

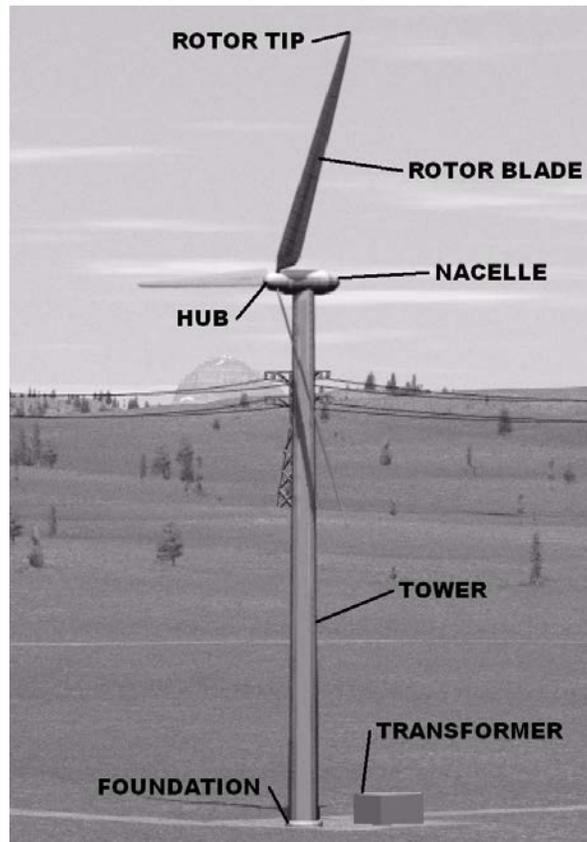
99. Las torres de los aerogeneradores consisten principalmente en cilindros cónicos hechos normalmente de acero. Suelen pintarse de color blanco o blanquecino, aunque pueden presentar distintas marcas pintadas para la seguridad del tráfico aéreo y marítimo (en las instalaciones marinas) en función de los requisitos específicos de cada país.

GRÁFICO A-1: COMPONENTES HABITUALES DE UN PARQUE EÓLICO TERRESTRE



Connection to power grid	Conexión a la red eléctrica
Substation	Subestación
Access road	Carretera de acceso
Turbine	Aerogenerador (Turbina)
Transformer	Transformador
Underground transmission cable	Cable de transmisión subterráneo

GRÁFICO A-2: COMPONENTES ESTRUCTURALES HABITUALES DE UN AEROGENERADOR



Rotor Tip	Extremo de la pala del rotor
Rotor Blade	Pala del rotor
Nacelle	Góndola
Hub	Cabeza de rotor
Foundation	Base
Transformer	Transformador
Tower	Torre

100. A medida que aumenta la velocidad del viento, las palas del rotor empiezan a girar. Esta rotación hace girar el generador ubicado en el interior de la góndola, convirtiendo así parte de la energía eólica en electricidad. La mayor parte de los aerogeneradores comienzan a producir electricidad a velocidades del viento de aproximadamente 3 m/s a 4 m/s —o 10,8 km/h a 14,4 km/h—, alcanzan una producción máxima de energía eléctrica a velocidades del viento de alrededor de 12 m/s (o 43 km/h), e interrumpen su actividad para evitar daños a los 25 m/s (90 km/h) aproximadamente⁸⁴. La velocidad máxima del extremo de la pala puede alcanzar aproximadamente los 90 m/s, o 320 km/h. Si la velocidad del viento es elevada, existen tres formas de limitar la potencia del rotor: la regulación por pérdida aerodinámica, la regulación variable por cambio del ángulo de paso y la regulación por pérdida aerodinámica activa. Con la regulación por pérdida aerodinámica, el diseño aerodinámico de la pala del rotor regula la potencia del rotor. A elevadas velocidades del viento, una pala regulada por pérdida aerodinámica comenzará a entrar en pérdida al superar un límite de potencia predeterminado en función del diseño aerodinámico de la pala del rotor. En la regulación por cambio del ángulo de paso, el paso de las palas de rotor puede modificarse hasta en 90° para maximizar la captación de viento. Una vez alcanzado el límite de potencia, el paso se cambia para comenzar a liberar energía desde el rotor. La regulación por pérdida aerodinámica activa es una combinación de regulación por pérdida aerodinámica y regulación por cambio del ángulo de paso por la cual las palas se diseñan de forma parecida a las palas de regulación por pérdida aerodinámica, pero pueden manipularse para ajustar el paso. Hasta la década de 1990, la estrategia preferida era la regulación por pérdida aerodinámica pasiva. Sin embargo, la regulación por cambio del ángulo de paso es actualmente el método preferido para limitar la potencia del rotor en las turbinas de gran tamaño.

101. La cantidad de energía en el viento es proporcional al cubo de la velocidad de este. Dicho de otro modo, la duplicación de la velocidad del viento resulta en ocho veces el volumen de energía presente en el viento. Un aerogenerador puede generar normalmente electricidad entre el 70 % y el 85 % del tiempo⁸⁵. Sin embargo, la producción de energía no cambia en la misma proporción, sino que lo hace aproximadamente con el cuadrado de la velocidad del viento. La electricidad generada por un aerogenerador suele rondar los 700 voltios, lo que no resulta apto para la transmisión de energía⁸⁶. Por consiguiente, se hace uso de un transformador para “aumentar” el voltaje hasta un nivel suficiente para el sistema colector del parque eólico (por ejemplo, 11 kilovoltios). El sistema colector está conectado a un transformador que incrementa el voltaje hasta un nivel apto para la conexión a una subestación del parque eólico. La conexión entre el transformador de un aerogenerador y la subestación, por un lado, y la subestación y la red eléctrica, por otro, puede realizarse mediante cables de transmisión subterráneos o a nivel del suelo. Dependiendo de la distribución del proyecto, los transformadores de los aerogeneradores pueden conectarse de forma independiente a la subestación, o bien los aerogeneradores pueden conectarse entre ellas y luego conectarse a una subestación.

102. La vida útil de un aerogenerador es de aproximadamente 20 años, aunque en la práctica pueden durar más tiempo con el mantenimiento apropiado.

103. Durante la vida útil del aerogenerador se llevará a cabo un mantenimiento periódico. Las actividades de mantenimiento pueden consistir en el mantenimiento de turbinas y rotores, la lubricación de piezas, la revisión completa del generador y el mantenimiento de los componentes eléctricos, cuando corresponda.

⁸⁴ BWEA (2005b).

⁸⁵ BWEA (2005d).

⁸⁶ BWEA (2005b).

104. La operación y el mantenimiento de las instalaciones eólicas no suele generar emisiones a la atmósfera ni descargas de efluentes. Los fluidos y otros materiales residuales asociados con las actividades de mantenimiento más habituales no suelen almacenarse en el emplazamiento sino que se eliminan según establezcan las normas regionales o nacionales adecuadas o las mejores prácticas de manejo.

A.2 Infraestructuras exclusivas de las instalaciones eólicas marítimas

105. Los elementos estructurales y la operación de un parque eólico marítimo son similares a los de las instalaciones eólicas terrestres. Las principales diferencias entre los aerogeneradores en tierra y marítimos son su tamaño, la altura de las torres y el diámetro de las palas del rotor. Otra diferencia es que las instalaciones marítimas suelen utilizar cables subterráneos (marinos y terrestres) para transmitir la electricidad procedente de los aerogeneradores al transformador y del transformador a una subestación ubicada en tierra (gráfico A-3).

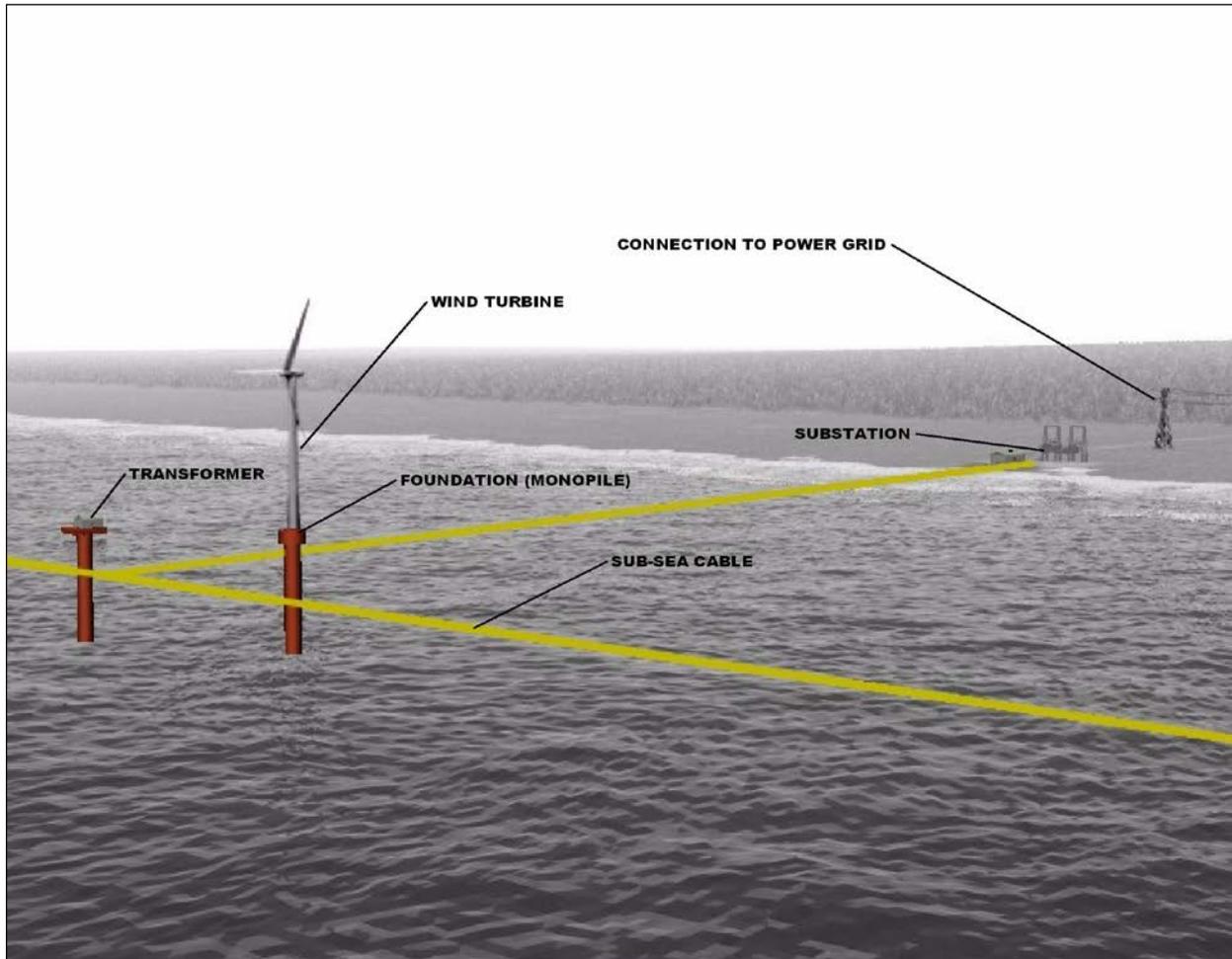
106. Los materiales de los componentes estructurales (por ejemplo, las torres) serán similares a los de sus homólogos en tierra, aunque se utilizan distintos métodos para adaptar la estructura al entorno marino, incluyendo el revestimiento de las piezas metálicas para protegerlas de la corrosión; se emplean góndolas selladas; se diseñan cimientos/torres distintas para hacer frente al viento, las olas, las corrientes, la marea y las interacciones del lecho marino (gráfico A-1), y se dispone de plataformas de acceso especial para el mantenimiento.

107. Las actividades más frecuentes durante la construcción de los parques marítimos incluyen el establecimiento de los cimientos de los aerogeneradores; el transporte marítimo de los componentes de los mismos; el montaje de la torre; la elevación de la góndola y los rotores hasta la torre eólica y su montaje.

108. Algunas de las cimentaciones y aplicaciones asociadas disponibles para los aerogeneradores marítimos incluyen:

- Monopilotes: aptos para la mayor parte de las condiciones, preferentemente empleado en aguas poco profundas y no para materiales profundos blandos.
- Trípode: apto para la mayor parte de las condiciones, preferentemente no para materiales profundos blandos y sí en profundidades superiores a los 30 m.
- Soporte GBS con cajón de hormigón: sirve para casi todos los sedimentos.
- Soporte GBS con cajón de acero: sirve para casi todos los sedimentos, y a profundidades superiores que los cimientos de hormigón.
- Cajón de monosucción: arenas, arcilla blanda.
- Cajón de succión múltiple: arenas, arcilla blanda; para aguas más profundas que la monosucción.
- Flotante: aguas a profundidades de hasta 100 metros.

GRÁFICO A-3: COMPONENTES HABITUALES DE UNA INSTALACIÓN EÓLICA MARÍTIMA



Connection to power grid	Conexión a la red eléctrica
Transformer	Transformador
Foundation (monopile)	Base (monopilote)
Sub-sea cable	Cable submarino
Wind turbine	Aerogenerador (turbina)
Substation	Subestación