

GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL DE **PROYECTOS DE ENERGÍAS RENOVABLES**



Secretaría de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación



Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación
Guía para la evaluación de los impactos ambientales de proyectos de energías
renovables. - 1a ed . -
Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Secretaría de Ambiente y Desarrollo
Sustentable de la Nación, 2019.

GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE **PROYECTOS DE ENERGÍAS RENOVABLES**

AUTORIDADES

Presidente de la Nación

Mauricio Macri

Secretario General de la Presidencia

Fernando De Andreis

Secretario de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable

Rabino Sergio Bergman

Titular de la Unidad de Coordinación General

Patricia Holzman

Secretario de Cambio Climático y Desarrollo Sustentable

Carlos Bruno Gentile

Directora Nacional de Evaluación Ambiental

María Celeste Piñera

Directora de Impacto Ambiental y Evaluación Estratégica

Andrea Frassetto

EQUIPO DE TRABAJO

Ana Pierangeli, Angela Ventini, Betania González, Diego Del Rio, Soledad Caldumbide, Soledad González Arismendi, Victoria Arias Mahiques, Victoria Rodriguez de Higa

Colaboración de la Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Secretaría de Gobierno de Energía:

Mariela Fullone, Juliana Ramos

ÍNDICE

Acrónimos y Abreviaturas	6
Capítulo 1. Presentación	8
1 · Introducción	9
2 · Objetivos, alcance y destinatarios	10
Capítulo 2: Consideraciones generales para los estudios de impacto ambiental de proyectos de energía renovable	12
1 · Consideraciones previas para la planificación del estudio	13
2 · Encuadre del proyecto	14
3 · Evaluación de alternativas de proyecto	14
4 · Marco normativo e institucional	15
5 · Sistemas de conexión eléctrica	16
Capítulo 3: Principales impactos por fuente de energía renovable	18
1 · Alcance	19
2 · Energía eólica	19
3 · Energía solar	25
4 · Energía geotérmica	31
5 · Energía marina	36
6 · Energía a partir de biomasa	40
7 · Energía a partir de biogás de digestión anaeróbica y rellenos sanitarios	43
8 · Consideraciones sobre el paisaje en los proyectos de energías renovables	45
Bibliografía	46

ACRÓNIMOS

CESC: Centrales de energía solar concentrada

CSF: Centrales solares fotovoltaicas

EIA: evaluación de impacto ambiental

ENRE: Ente Nacional Regulador de la Electricidad

EsIA: estudio de impacto ambiental

GEIs: gases de efecto invernadero

GRS: gas de relleno sanitario

MEM: Mercado Eléctrico Mayorista

SADI: Sistema Argentino de Interconexión

SAyDS: Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable

SIG: sistemas de información geográfica

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

WTG: Wind turbine generator o aerogenerador

ABREVIATURAS

dB: decibel (unidad de referencia para medir la potencia de una señal o la intensidad de un sonido)

GW: gigawatt (unidad de potencia)

ha: hectárea (unidad de superficie)

kcal/kg: kilocaloría por kilo (unidad de poder calorífico)

kcal/m³: kilocaloría por metro cúbico (unidad que expresa el poder calorífico de un gas)

km²: kilómetro cuadrado (unidad de superficie)

km/h: kilómetros por hora (medida de velocidad)

kV: kilovoltio (unidad de tensión o diferencia de potencial)

kWh: kilowatt hora (unidad de energía)

m³/min. Metro cúbico por minuto (medida de caudal)

mg/m³: miligramo por metro cúbico (medida de concentración)

m/s: metros por segundo (medida de velocidad)

MtCO₂eq: millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente

MW: megawatt (unidad de potencia)

Qm: micrón (unidad de longitud)

Capítulo 1.

Presentación



1. Introducción

En el marco del rápido crecimiento del sector de energías renovables en el país, el propósito de esta guía es introducir lineamientos para fortalecer los estudios de impacto ambiental y la gestión adecuada de los impactos típicamente asociados a estos proyectos, conforme al marco regulatorio de aplicación.

Las energías renovables son aquellas obtenidas a partir del aprovechamiento de recursos naturales disponibles como la radiación solar, el viento, las mareas, el calor de la corteza terrestre, los gases de descomposición de materia orgánica, y los restos de material orgánico de otras actividades humanas que puedan utilizarse como combustible.

Con el objetivo de aprovechar el gran potencial de estas energías y diversificar su oferta interna, Argentina ha adoptado un régimen de promoción¹, aprobado por Ley N° 27.191, mediante el cual fijó metas para aumentar la participación de las energías renovables en la matriz energética. En el marco de dicho régimen de promoción, se considera como fuentes de energía renovables a la energía eólica, solar térmica, solar fotovoltaica, geotérmica, mareomotriz, undimotriz, biomasa, biogás, y energía hidráulica (proyectos hasta 50 MW). La presente guía se estructura siguiendo dichos sectores².

Cabe destacar que el sector energía es el más importante en términos de generación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) conforme lo establecido en el Plan de Acción Nacional de Energía y Cambio Climático³ y en el marco de la Contribución Nacional presentada ante las Naciones Unidas⁴. Por tal motivo, es el sector que presenta el mayor potencial de mitigación.

En este marco, el sector de las energías renovables se encuentra en desarrollo, lo que constituye una gran oportunidad para incorporar buenas prácticas ambientales desde etapas tempranas del diseño de los proyectos y la elaboración de los estudios de impacto ambiental.

Los primeros proyectos instalados han permitido generar información técnica acerca de los impactos ambientales específicos y la sensibilidad de los ecosistemas donde suelen instalarse estos proyectos en nuestro país



¹ Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la producción de energía eléctrica. Ley 27.191 sancionada el 23/9/2015.

² En la presente guía no se aborda la energía hidráulica ya que los aspectos generales de esta fuente de energía se encuentran analizados en la “*Guía para la elaboración de estudios de impacto ambiental de proyectos hidroeléctricos*” (SAyDS, 2019 c)

³ Gabinete Nacional de Cambio Climático. Ministerio de Energía. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Plan de Acción Nacional de Energía y Cambio Climático. Versión I, 2017, p. 9.

⁴ Argentina aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en el año 1993 y adoptó el Acuerdo de París en el año 2016. Este acuerdo convoca a las partes firmantes a presentar ante la Convención sus “Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional” (NDC, por sus siglas en inglés) como parte de la respuesta mundial frente al cambio climático, así como a realizar y comunicar esfuerzos ambiciosos con miras a alcanzar el propósito del acuerdo.

2. Objetivos, alcance y destinatarios de la guía

Esta guía es un documento técnico que tiene como objetivo general brindar lineamientos conceptuales y metodológicos, así como recomendaciones, sobre buenas prácticas para la identificación y evaluación de impactos ambientales de proyectos de energías renovables. Para ello, se llevó a cabo una identificación preliminar de los principales impactos de este tipo de proyectos. Sin embargo, por la especificidad de la materia, una segunda etapa de este documento es necesaria para considerar la totalidad de la complejidad del tema, así como las diversas características particulares de las distintas ecorregiones del país.

En su elaboración se consideró bibliografía nacional e internacional, incluyendo las propuestas metodológicas de los organismos especializados y lecciones aprendidas de proyectos en operación en Argentina. Debe tenerse en cuenta que el contenido del estudio de impacto ambiental (EslA) y las metodologías empleadas deben ajustarse a cada proyecto según sus características particulares, el lugar de emplazamiento y al cumplimiento del marco normativo de aplicación en cada caso.

Los principales destinatarios de esta guía son los profesionales responsables de la elaboración de EslA y los distintos organismos con incumbencia en la revisión técnica y licenciamiento ambiental de proyectos de energía renovable. Asimismo, puede ser de utilidad con fines académicos, y como consulta para las instancias participativas en los procedimientos de EIA.

Los lineamientos particulares aquí presentados, se complementan con los generales incluidos en la [“Guía para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental”](#) publicada por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) en 2019 y aprobada por Resolución SAyDS N° 337/19.





Capítulo 2.

Consideraciones generales para los estudios de impacto ambiental de proyectos de energía renovable



En el presente capítulo se abordan cuestiones comunes de los estudios de impacto ambiental de proyectos de energía renovable. En el capítulo 3 se desarrollan las principales características de las tecnologías que utilizan fuentes de energía renovable y los potenciales impactos ambientales específicos asociados cada una de ellas.

1. Consideraciones previas para la planificación del estudio

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 31).

Entre los principales aspectos a considerar en la planificación de los estudios se encuentran la conformación del equipo de especialistas y la definición de contenidos. El equipo de trabajo debe contar con experiencia específica en el tipo de proyecto de energía renovable que se trate y debe tener conocimientos acabados de la región bioclimática en la que se plantea implantar.

Una buena organización inicial del trabajo facilita el abordaje interdisciplinario y la adecuada determinación del alcance del estudio para que cumpla los objetivos esperados.

Es importante considerar las especificaciones técnicas para la preparación del EsIA en caso que estuvieran ya definidas, así como los requisitos establecidos en las normas de aplicación (nacionales o provinciales, específicas de EIA o de aplicación al sector de energías renovables). Se debe definir el alcance, enfoque, métodos y técnicas a aplicar conforme el tipo de proyecto y las características de su emplazamiento.

Se debe identificar también la información disponible y aquella información que es necesario generar en el marco del estudio considerando una adecuada escala espacial y temporal.

El EsIA se estructura típicamente con los siguientes capítulos:

- » Índice
- » Abreviaturas y acrónimos
- » Resumen ejecutivo
- » Presentación
- » Descripción del proyecto
- » Evaluación de alternativas
- » Marco normativo e institucional
- » Definición del área de influencia
- » Línea de base o diagnóstico ambiental
- » Análisis de sensibilidad ambiental
- » Análisis de impactos ambientales
- » Medidas de mitigación
- » Plan de Gestión Ambiental
- » Conclusiones
- » Cartografía
- » Bibliografía
- » Anexos

Fuente: SAyDS (2019a, p.32)

2. Encuadre del proyecto

Para mayor información consultar la Guía para la elaboración de EsIA (SAyDS, 2019a, p. 37-8).

Como para todo proyecto de obra o actividad, es una buena práctica que en los EsIA de proyectos de energía renovable se tome en consideración si el proyecto se enmarca en alguna política, plan o programa en la materia, y si esa planificación fue objeto una evaluación ambiental estratégica (EAE).

Asimismo, es importante que se identifique cuál es el aporte que daría el proyecto a la diversificación de la matriz energética

nacional en miras al cumplimiento de la participación de las energías renovables establecidas en la Ley N° 27.191, la capacidad de expansión de la potencia instalada (en función de la potencia instalada por región y por tecnología)⁵ así como el reemplazo del consumo de combustibles fósiles durante la vida útil del proyecto y su contribución a la mitigación del cambio climático (GEI evitados durante la vida útil del proyecto, tomando distintos combustibles fósiles).

3. Evaluación de alternativas de proyecto

Para mayor información consultar la Guía para la elaboración de EsIA (SAyDS, 2019a, p. 43).

La evaluación ambiental de alternativas comienza a efectuarse a instancias tempranas del ciclo del proyecto.

Debe dar cuenta de todos los ajustes que se efectuaron en el proyecto, aplicando el principio de la jerarquía de mitigación, donde para cada potencial impacto identificado, se haya evaluado, en primer lugar, la posibilidad de no realizar la actividad o modificar procesos para evitar o minimizar impactos, que impliquen modificaciones de emplazamiento o alternativas estructurales o de tecnología. Evitar y minimizar constituyen los primeros criterios de aplicación de este marco conceptual.

El análisis y la evaluación de alternativas, se debe realizar en base a los potenciales impactos ambientales identificados para toda la vida útil del proyecto.⁷

La elección de la localización de un proyecto de energía renovable dependerá de determinadas condiciones meteorológicas, geológicas o de la disponibilidad de recursos en el sitio, que podemos denominar requerimientos mínimos de factibilidad técnica y económica.

El objetivo de la evaluación ambiental de alternativas en las etapas tempranas del ciclo de proyecto, es obtener una cantidad y calidad de información que permita, a través de la aplicación del principio de jerarquía de mitigación, proponer alternativas que cumplan con el propósito del proyecto y se puedan explorar al máximo las medidas para evitar y minimizar los impactos negativos significativos sobre el ambiente.

El principio de jerarquía de mitigación establece una secuencia de pasos, a implementar de forma concatenada y jerarquizada, que tienen como finalidad evitar, minimizar, restaurar y en última instancia compensar los impactos negativos significativos residuales. Las medidas de evitación y minimización tienen más oportunidades de ser implementadas en las etapas tempranas del ciclo de vida del proyecto (prefactibilidad y factibilidad), a la vez que generan mayor previsibilidad de costos y resultados en relación a las medidas de restauración y compensación. En este sentido, la jerarquía de mitigación es una importante herramienta para la planificación temprana de las medidas de mitigación.

⁵ <https://despachorenovables.cammesa.com/potencia-instalada/>

⁶ SAyDS, 2019a, p. 43.

⁷ Por ejemplo, para el caso de proyectos de transporte de energía, la Resolución N° 77/98 de la Secretaría de Energía, establece las condiciones y requerimientos fijados en el "Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico" y requiere un análisis de las alternativas, en el cual deben incorporarse al proyecto pautas que eviten un impacto visual significativo y de minimización de afectación del espacio.

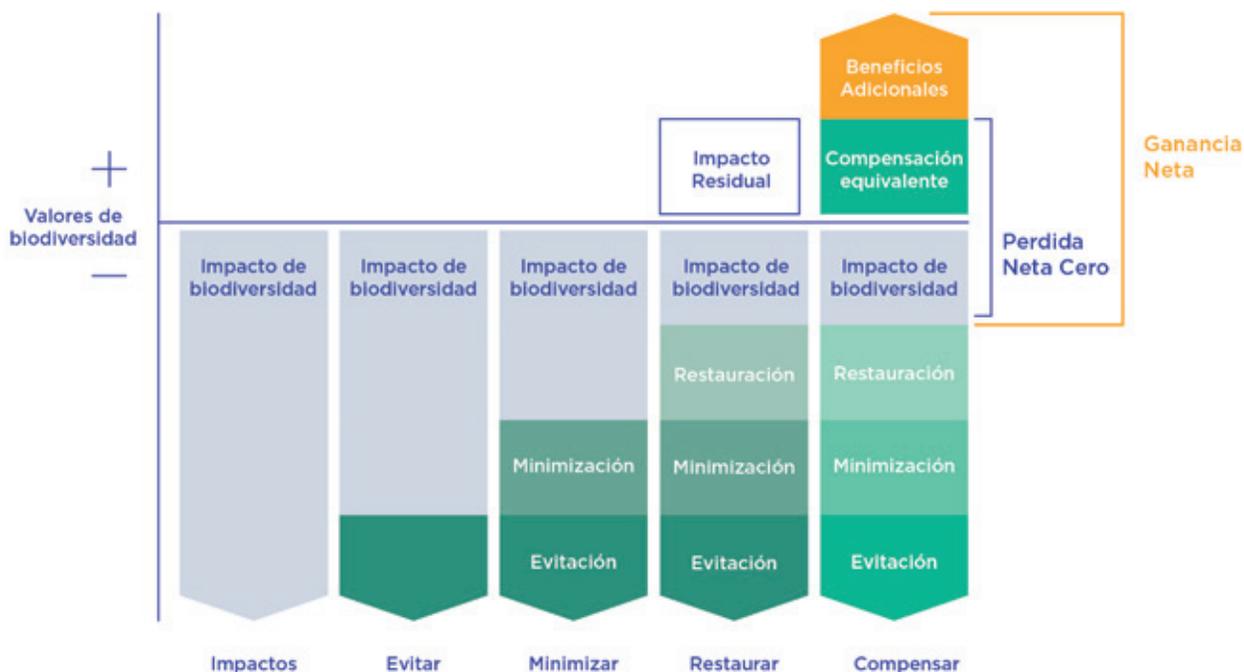


Figura 2.1. Modelo conceptual de la jerarquía de mitigación aplicado al caso de impactos sobre la biodiversidad. Fuente: (SAyDS, 2019a, p. 73).

4. Marco normativo e institucional

Para mayor información consultar la [Guía para la elaboración de EsIA](#) (SAyDS, 2019a, p. 44).

El marco legal ambiental aplicable al proyecto de energías renovables, puede estar alcanzado por tres planos regulatorios: la normativa ambiental, que contiene los procedimientos de evaluación de impacto ambiental; la normativa sectorial y específica del tipo de proyecto, que pueden tener alcance nacional, provincial o municipal; y las normas de organismos internacionales de crédito, en caso de proyectos sujetos a financiamiento externo.

Adicionalmente, al momento de proyectar un EsIA de este tipo de proyectos, el análisis de la normativa aplicable puede ayudar a definir el alcance, enfoque, métodos y técnicas a aplicar conforme el tipo de proyecto y las características de su emplazamiento⁸.

La actividad de generación y transporte de electricidad en Argentina, se encuentra regulada por la Secretaría de Energía y el Ente Nacional Regulador de la Electricidad (ENRE), organismos pertenecientes al Estado nacional⁹.

⁸ En forma reciente, por ejemplo, la provincia de Buenos Aires ha publicado la Resolución OPDS N° 431/19 que contiene consideraciones particulares para los EsIA por ejemplo, de proyectos de Líneas de Alta Tensión; Parques Eólicos y Parques Fotovoltaicos, entre otros.

⁹ La normativa del ente se encuentra sistematizada y disponible en <https://www.argentina.gob.ar/enre/normativa>

5.

Sistemas de conexión eléctrica

Los proyectos de energías renovables, además de considerar la construcción y operación de la central generadora deben considerar la línea de transmisión y estación transformadora para conectar hacia el punto de entrega (Renovar, 2018).

En este sentido, las líneas de transporte y distribución de electricidad generan impactos sobre el entorno en que se implantan, y pueden resultar en impactos acumulativos respecto de los ya producidos por las centrales de generación de fuentes renovables. Los impactos más relevantes de las líneas pueden ser, entre otros, la modificación del paisaje, la restricción de actividades y usos del suelo, la afectación de la fauna silvestre.

El movimiento de la energía eléctrica entre las zonas de generación y de consumo se realiza, en general, mediante el Sistema Argentino de Interconexión (SADI), el cual incluye la red de transporte y las instalaciones de distribución. El transporte de la electricidad se realiza a través de líneas de alta tensión, que vinculan las distintas regiones de Argentina. Las tensiones normalmente involucradas en el transporte de energía eléctrica son de 132 kV, 220 kV, y 500 kV. La distribución eléctrica involucra las redes de media y baja tensión con todos sus elementos para poder llegar con la energía hasta los consumos finales. Las tensiones normalmente involucradas en la distribución de energía eléctrica son de 13,2 kV, 33 kV, y 66 kV¹⁰. Adicionalmente, el sistema posee instalaciones que permiten la transferencia, transformación, protección, medición y maniobra de la energía eléctrica, denominadas estaciones o subestaciones eléctricas.

La Secretaría de Energía (Res. SE 15/92 y 77/98, y Res. ENRE 555/01 y modificatorias y complementarias) ha establecido una serie de condiciones y requerimientos para obras de líneas de transmisión y distribución de alta tensión y estaciones transformadoras, sistematizadas en el "Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión" y en la "Guía de Contenidos Mínimos de los Planes de Gestión Ambiental".

A lo señalado por la SE, es importante incorporar consideraciones relativas a los impactos sobre la biodiversidad.

En este marco, cabe señalar que la electrocución de las aves puede ocurrir en los apoyos o postes de las líneas, y puede suceder por el contacto del individuo con dos conductores

en forma simultánea, o por el contacto con un conductor y la descarga a tierra a través del apoyo o poste. En el primer caso, las aves de gran tamaño (como águilas y aguiluchos) son las especies más susceptibles a electrocutarse de esta manera, ya que es necesario el contacto simultáneo con ambos conductores. Para que ocurra un evento de electrocución fase-descarga a tierra, el apoyo de la línea debe estar construido de un material conductor como metal u hormigón (Sarasola, 2017).

Normalmente, las líneas de distribución de energía en media tensión disponen los tres cables conductores en un mismo plano, y en ocasiones a una distancia entre ellos que permite el contacto fase-fase. De esta manera, la mortalidad de aves por electrocución se observa con mayor frecuencia en estas redes, más que en las líneas de transporte de mayor tensión, que poseen mayor separación entre las fases, siendo en este caso un aspecto más importante la muerte de las aves por colisión con los cables (Sarasola, Zanon Martínez, 2017).

El tendido eléctrico también puede ser una amenaza para primates neotropicales, especialmente los monos aulladores (A. g. Clamitans), presentes en el norte y noreste argentino. Los monos aulladores utilizan áreas de bosques cerca de áreas urbanizadas y están expuestos a riesgos de electrocución por la utilización de los cables como pasafaunas (Lokschin et al, 2007). Asimismo, se debe tener en que en la más reciente categorización de los mamíferos argentinos (SAREM 2019), la mayoría de las especies de primates en Argentina han sufrido o aumentaron su riesgo de extinción (CONICET, 2017).

Las medidas de mitigación, deben ser netamente preventivas. Se deben considerar los sitios de instalación en función de los resultados de los estudios de distribución de especies en peligro y las áreas claves para la conservación de la biodiversidad. Se recomienda tener especial cuidado en evaluar, entre otros aspectos de ingeniería del Proyecto, los materiales, la iluminación y en particular la orientación de las líneas eléctricas que están particularmente asociadas a los riesgos de colisión de fauna en condiciones climáticas severas. También pueden adoptarse criterios técnicos en el diseño de las líneas de distribución de electricidad, modificando la disposición en los cables en los puntos de apoyo, y la utilización de estructuras con bajo riesgo de electrocución (Sarasola, Zanon Martínez, 2017).

¹⁰ <https://portalweb.cammesa.com/default.aspx>

Estas medidas de diseño toman relevancia en condiciones de mayor vulnerabilidad, como los casos de tendidos en paisajes con pocos apoyos naturales y presencia de aves rapaces o de gran tamaño, cercanías con zonas de alimentación, cría y refugio de aves (ej. humedales, AICAS, etc), y/o que se encuentren bajo rutas migratorias estacionales.

El monitoreo de estas medidas de mitigación, será más efectivo con la participación de las comunidades locales que podrán colaborar en el control de su efectividad.

Por último, corresponde aclarar que en el alcance del EsIA del proyecto de generación de energía renovable se deberán considerar las obras complementarias o vinculadas que conforme la normativa local o sectorial, podrán ser objeto del mismo EsIA del proyecto de generación o bien requerir un estudio individual. De igual manera, deben evaluarse los impactos acumulativos derivados de estas actividades vinculadas.

Capítulo 3.

Principales impactos por fuente de energía renovable



1. Alcance

En el presente capítulo se desarrollan las principales características de las tecnologías que utilizan fuentes de energía renovable y los potenciales impactos ambientales específicos asociados cada una de ellas. Como se mencionó en el capítulo 2, no se desarrollan aquellos impactos ambientales comunes con otros proyectos de obra o actividad que son abordados en la Guía SAyDS 2019a. Tampoco se abordan impactos específicos conforme las distintas regiones bioclimáticas del país.

Se consideran los proyectos de actividad a escala comercial, entendiendo como tal a aquellas centrales construidas específicamente para el suministro comercial de electricidad

conectadas a la red de transporte y/o distribución. Por lo tanto, no forman parte del alcance de esta guía los proyectos de generación de energía distribuida¹¹.

La presentación se ordena por fuente de energía renovable, considerando los principales componentes del EslA: línea de base, evaluación de impactos, medidas de mitigación y gestión ambiental, teniendo en cuenta la jerarquía de mitigación.

Al finalizar el capítulo se desarrolla un apartado específico respecto de la afectación del paisaje, impacto transversal a los proyectos de energía renovable.

2. Energía eólica

Características típicas de los proyectos y sus principales actividades

La energía eólica comprende el aprovechamiento de la energía cinética del viento, para su conversión en energía mecánica y, a partir de ésta, en otras formas útiles de energía para las actividades humanas, como la energía eléctrica.

Aerogeneradores. Los aerogeneradores o WTG (por sus siglas en el inglés *wind turbine generator*) son equipos diseñados para producir electricidad que están conformados básicamente por un elemento portante denominado torre, un rotor compuesto por un eje y las palas que son accionadas por el viento, y un generador que se mueve por arrastre del rotor. El movimiento de rotación del rotor se traspasa al generador que lo transforma

en energía eléctrica. Los aerogeneradores se clasifican en dos clases, de acuerdo a la posición del eje de rotación: las turbinas eólicas de eje horizontal (HAWT), el tipo más comúnmente utilizado, se componen de palas situadas perpendicularmente a la dirección del flujo del viento y por lo general se parecen a una gran hélice de avión de tres palas; los aerogeneradores de eje vertical (VAWT) poseen menor eficiencia de conversión energética, por lo cual no suelen utilizarse en proyectos de generación a gran escala.

El rendimiento de un aerogenerador depende de la velocidad del viento, del área cubierta por el rotor, la densidad del aire, el diseño técnico del equipo, la altura de la torre y la topografía de la zona. Cuanto más largas son las palas, mayor es el área barrida por el rotor y, por lo tanto, mayor será la producción de energía.

¹¹ Actividad de generación a pequeña escala que suele estar conectada a la carga del usuario y únicamente entrega el excedente de generación luego del consumo propio.

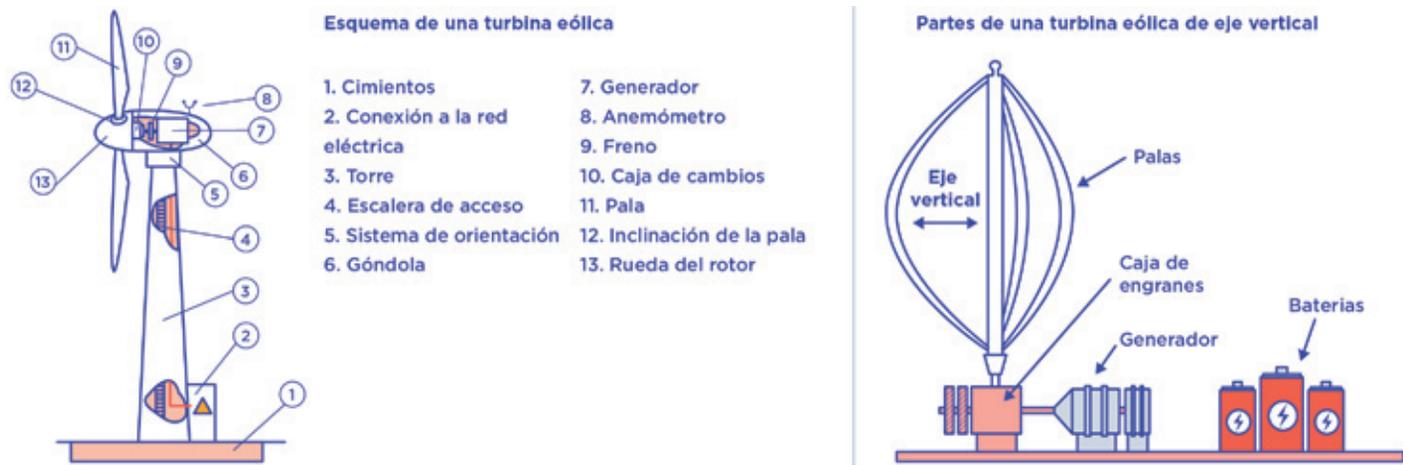


Figura 3.1. Aerogenerador de eje horizontal. (HAWT) y Esquema de un aerogenerador de eje vertical. (VAWT). Fuente: elaboración propia.

No se requieren grandes velocidades de viento para producir energía. En general, con velocidades del orden de 4 a 5 m/s (15 km/h), un aerogenerador comienza a generar energía, y produce su máxima potencia con velocidades de entre 12 a 15 m/s (40 a 55 km/h). Cuando la velocidad alcanza 25 m/s (90 km/h), es necesario sacar el equipo de servicio, evitando así deterioros en alguno de sus componentes. (Secretaría de Energía, 2008).

Debido al progresivo desarrollo de esta tecnología, se diseñan máquinas cada vez más económicas y potentes, lo que permite disminuir el costo de generación de energía eléctrica a partir de esta fuente renovable. Las turbinas eólicas actuales utilizadas en generación pública pueden medir 100 metros o más al centro del eje, y por lo general, tienen capacidades que ya alcanzan y superan los 6 MW.

Centrales eólicas. Los aerogeneradores se pueden instalar como unidades individuales, es decir, una sola turbina eólica, o como varias unidades generadoras de energía en los denominados centrales o parques eólicos. Una central eólica puede contar con unos pocos a varios cientos de aerogeneradores y cubrir un área de varios cientos de kilómetros cuadrados, pudiendo ser emplazado sobre el agua, para aprovechar los fuertes vientos que soplan sobre la superficie de un océano o lago.

Varios factores pueden influir en el tamaño de una central eólica: las características del terreno, el recurso eólico, la capacidad de la red local de interconexión, así como aspectos paisajísticos y de patrimonio, entre otros. La potencia generada por una central eólica se calcula como la sumatoria de las potencias individuales de los generadores que lo componen.

En general, una central eólica se compone de los siguientes elementos:

- » Aerogeneradores
- » Caminos de acceso e internos de servicio
- » Circuito interno de media tensión
- » Estación Transformadora

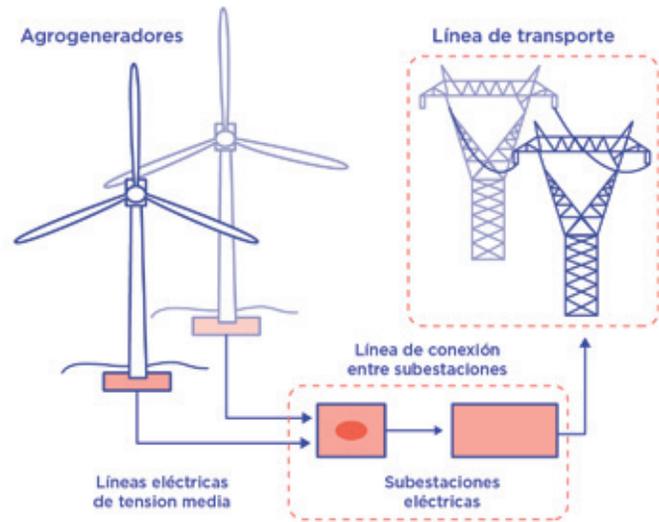


Figura 3.2. Esquema de central eólica. Fuente: elaborado en base a SEA (2012).

Actividades de un proyecto de energía eólica. La etapa de construcción de las centrales eólicas suele incluir las siguientes actividades: acondicionamiento del terreno para el emplazamiento (movimientos de suelo, desbroce, etc.); utilización de vehículos y maquinarias; construcción de caminos; transporte de insumos, residuos y mano de obra; construcción, operación y retiro de las instalaciones auxiliares; excavación y construcción de fundaciones y plataformas; operación de grúas para la descarga e instalación de los equipos; construcción y montaje de estación eléctrica; tendido eléctrico (en superficie o subterráneo).

La etapa operativa suele incluir las siguientes actividades: funcionamiento de la central; el mantenimiento de aerogeneradores, equipamiento y tendido eléctrico, sala de control y caminos.

Las actividades de desmantelamiento suponen el retiro de infraestructura de la central y la recomposición de los factores afectados por las obras en el lugar de emplazamiento.

Impactos específicos de los proyectos de energía eólica

Impacto acústico por ruido operacional

El nivel sonoro de la turbina aumenta a medida que aumenta la velocidad del viento, pero a un ritmo más lento que el ruido de fondo generado por el viento. Por lo tanto, es probable que el impacto del ruido de la turbina eólica sea mayor a bajas velocidades del viento cuando la diferencia entre el ruido de la turbina eólica y el ruido de fondo resulta ser mayor. Las turbinas eólicas no funcionan por debajo de la velocidad del viento conocida como velocidad de corte (la velocidad del viento más baja por debajo de la cual una turbina eólica no puede producir energía utilizable). El ruido de las turbinas eólicas se irradia más en algunas direcciones que en otras y, por lo expresado anteriormente, las áreas con viento bajo experimentan los niveles más altos pronosticados.

Los niveles de ruido de aerogeneradores presentan distintas características en relación a otros tipos de ruidos de fuentes industriales. Estos no resultan tener valores altos de emisión sin embargo, la molestia es percibida debido a su característica de amplitud modulada (Figura 3.3). Además, se debe tener en cuenta, que la sincronización de aerogeneradores puede producir un incremento en la sensación de molestia.

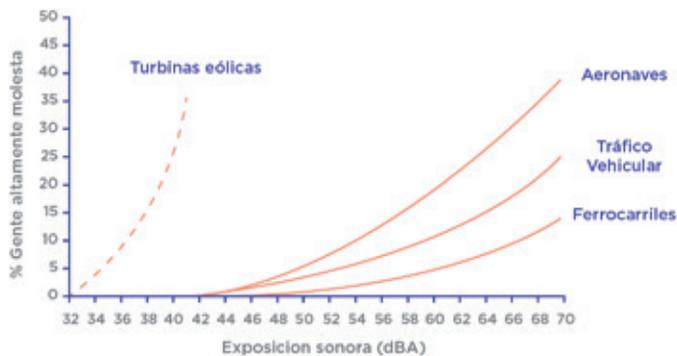


Figura 3.3. Exposición sonora.
Fuente: extraído de SEA (2015)

Para los estudios de línea de base, deben identificarse los potenciales receptores (viviendas permanentes, hoteles, hospitales, escuelas, áreas de calidad recreativa o de importancia biológica, entre otros), y otras fuentes emisoras en cercanías del proyecto.

Para la realización del estudio de evaluación de impacto acústico, será necesario contar con información de base sobre el ruido de fondo, incluyendo el ruido derivado de otras actividades existentes que no estén relacionadas con el proyecto, que pudieran generar impactos acumulativos.

Debe tenerse en cuenta que los estudios de ruido deben realizarse conforme la normativa de aplicación, dependiendo del tipo de proyecto y su localización. A nivel nacional, la Secretaría de Energía dispone en la Resolución N° 304/99, que las empresas u organismos

titulares de centrales eólicas de generación de energía eléctrica, que aspiren a convertirse en agentes del MEM, deben cumplir con la norma del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM) 4062 de ruidos molestos al vecindario. Esta evaluación debe ser complementaria a la normativa local en la materia.

En caso de identificar receptores sensibles deben realizarse estudios de impacto acústico, basados en modelos predictivos de ruido.

Buenas prácticas para la evaluación de impacto acústico en proyectos de energía eólica:

- » Identificar los potenciales receptores en el área de estudio y seleccionar aquellos que puedan presentar sensibilidad ambiental. Los receptores críticos serán, con frecuencia, los que más 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.
- » Es recomendable efectuar 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 pueden centrarse en receptores sensibles (considerando, por ejemplo, un radio de 2 km desde cualquiera de los aerogeneradores de un parque eólico).
- » En función de los resultados obtenidos, se recomienda realizar un estudio más detallado, en el que se debe considerar el ruido ambiental de fondo. Debe considerarse el ruido acumulativo derivado de todos los parques eólicos de las proximidades que pudieran tener el potencial de incrementar los niveles acústicos en frecuencias similares.

Fuente: Adaptado en base a IFC (2015)

Las medidas de mitigación del ruido del proyecto, serán más efectivas si se implementan desde las etapas de diseño de ingeniería y la localización de los aerogeneradores.

La ubicación de la central y la configuración de los aerogeneradores, así como la selección de equipos que generen menor impacto acústico, son factores determinantes para el manejo de los niveles de ruido ambiental.

Además, la ubicación del parque eólico, puede tener en cuenta las condiciones de propagación del ruido: condiciones meteorológicas, condiciones del terreno y obstáculos, que permitan evitar o minimizar los impactos sobre receptores sensibles.

Entre otras medidas a considerar, pueden construirse barreras acústicas apropiadas para reducir el nivel de inmisión de ruido en receptores potencialmente afectados.

Asimismo, debe preverse un programa de monitoreo de ruido que permita validar la información generada por los modelos y la efectividad de las medidas de mitigación, así como proponer nuevas medidas de gestión adaptativa en función de la eficiencia de las medidas adoptadas y/o la identificación de impactos no previstos.

Impactos por “parpadeo de sombras” o “shadow flicker”

Los impactos por “parpadeo de sombras” o “shadow flicker” se producen cuando las palas del rotor proyectan sombras intermitentes al girar. Este parpadeo se considera un impacto negativo cuando existen en el sitio receptores que potencialmente puedan verse afectados (población permanente, sitios de recreación, de importancia escénica, turísticos, comunidades biológicas potencialmente sensibles, entre otros).

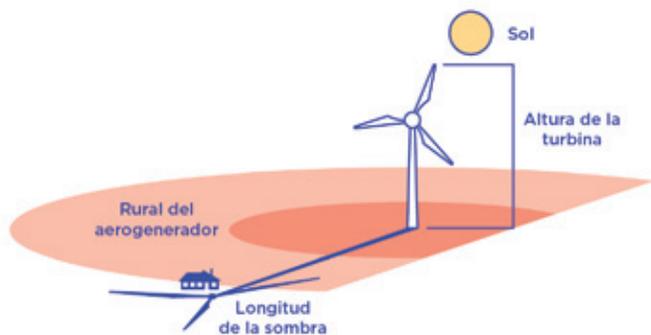


Figura 3.4. Impactos por parpadeo. Fuente: elaboración propia.

El parpadeo de sombras tiene una determinada duración y sus efectos son más importantes durante el amanecer y el atardecer, cuando se producen mayores proyecciones de sombra debido al ángulo del sol. La latitud en donde se encuentre el proyecto, las condiciones climáticas o si la central eólica se desarrolla en tierra o mar determinará la intensidad del impacto.

Los posibles efectos del parpadeo de sombras suelen ser mayores en latitudes altas, debido a que la declinación solar proyecta sombras más alargadas que ampliarán el radio de influencia de dicho parpadeo.

La evaluación preliminar de este fenómeno puede realizarse a partir del uso de programas de simulación, que grafican la proyección estimada de sombras durante distintos momentos del día y del año en que pudiera producirse este impacto (frecuencia y duración).

La primera medida de mitigación a considerar es la que evita el efecto del parpadeo de sombras sobre potenciales receptores. Esto se logra ubicando los aerogeneradores a una distancia mayor que la mayor longitud de la proyección de la sombra en el momento más crítico del año. El uso de programas de simulación puede utilizarse para ajustar la medida.

En caso de que no pueda modificarse el diseño de la central eólica o no puedan ubicarse todos los aerogeneradores en la situación planteada en la medida anterior, deben adoptarse medidas que minimicen los efectos. Entre ellas, por ejemplo, el IFC recomienda acotar la duración prevista de tales efectos por parte de un receptor sensible de forma tal que no supere las 30 horas anuales, o 30 minutos al día, en la peor de las jornadas en que se dé el parpadeo (IFC, 2015).

Colisiones y perturbaciones de aves y murciélagos

Los parques eólicos pueden producir distintos impactos sobre la fauna. La colisión de la fauna voladora (especialmente aves y murciélagos) con la infraestructura de los parques eólicos (especialmente con las palas del rotor) puede provocar muerte o accidentes. Como agravante, los parques eólicos suelen emplazarse en zonas con mayores vientos, que pueden coincidir con las utilizadas por aves migratorias. Por otro lado, puede producirse el desplazamiento de especies debido a la ocupación o fragmentación de sus hábitats. Otros tipos de impactos, como las colisiones y electrocuciones de la fauna silvestre con las líneas eléctricas, o la atracción de la fauna voladora a las luces artificiales de las centrales y/o aerogeneradores deben ser consideradas como impactos acumulativos sobre los ya mencionados.

Muchos de los impactos descritos sobre la fauna pueden ser comunes a otros proyectos de infraestructura por impactos vinculados a la ocupación de hábitats, fragmentación, etc. En este apartado se desarrolla el riesgo de colisiones y la perturbación a las aves y murciélagos el cual se considera específico de los proyectos de energía eólica durante la etapa operativa.

A la fecha de la publicación de esta guía, se encuentra en elaboración una guía específica “Guía BID de buenas prácticas para el desarrollo eólico en Argentina: gestión de impactos para las aves y murciélagos”, elaborada por el BID y el IFC para el fortalecimiento del Programa de RENOVAR. En tanto la SAyDS ha participado de los talleres realizados y de la revisión de sus contenidos, las recomendaciones aquí incluidas han considerado dichos aportes. No obstante, se señala que dicha guía presenta un abordaje más detallado de esta temática.

En la elaboración de la línea de base ambiental para proyectos de energía eólica, adquiere fundamental relevancia el estudio de las poblaciones de aves y murciélagos locales y migrantes, con el objeto de identificar las especies sensibles. Este estudio debe proporcionar datos sobre la distribución y movimientos de las especies, abundancia, sitios de alimentación, reproducción y cría, altitud y dirección del vuelo ante diferentes condiciones climáticas y/o ciclos de marea para los proyectos offshore (Aves Argentinas, 2019). Se debe tener en cuenta que los relevamientos cubran todos los períodos estacionales durante al menos 1 año de recolección de datos.

Al respecto, es importante tener en cuenta las especies amenazadas incluidas en los reportes nacionales o internacionales (ej. lista roja de

UICN), así como las especies protegidas definidas normativamente, tanto a nivel nacional (leyes nacionales N° 22.421 y 24.375) como a nivel provincial. Además, deben considerarse las especies migratorias que puedan utilizar el sitio y otras especies que sean consideradas prioritarias para la conservación por expertos u otras partes interesadas.



Aerogenerador y aves. Fuente: IAIA (2017)

Aves

Las colisiones con las aspas en movimiento, con la torre o con las infraestructuras asociadas, como las líneas eléctricas de interconexión, son causas de mortalidad directa. Por su parte, los rotores pueden causar lesiones debido a las turbulencias que producen (Atienza et al., 2011).

La presencia de aerogeneradores puede generar que las aves busquen evitarlas e, incluso, que eludan la zona ocupada por la central. Si las aves son desplazadas de sus hábitats preferentes por esta causa y son incapaces de encontrar lugares alternativos, puede disminuir su éxito reproductor y su supervivencia, debido al incremento del gasto energético provocado por la necesidad de localizar nuevos territorios.

Las evaluaciones de los impactos acumulativos en proyectos de centrales eólicas, están especialmente justificadas cuando hay múltiples centrales ubicadas muy próximas a receptores sensibles, como en áreas de elevado valor en términos de biodiversidad.

Murciélagos

El mayor impacto en las poblaciones de murciélagos se produce por colisión y barotrauma. El riesgo de colisión y barotrauma depende de factores estructurales, biológicos, y del sitio.

Entre los factores estructurales, la cantidad de aerogeneradores incide en la probabilidad de ocurrencia de colisión. Asimismo, la estructura de la central eólica define en qué medida éste actúa como una barrera al paso de las especies migratorias. Se ha identificado que los proyectos que presentan una disposición lineal de las turbinas tienen una mayor probabilidad de producir impactos (SEA, 2015).

En relación a los factores biológicos, las especies migratorias realizan vuelos en altura (>60 m), por lo que resultan más propensas a colisionar con los aerogeneradores (SEA, 2015).

En cuanto a los factores propios del sitio, las mayores tasas de colisión de murciélagos contra aerogeneradores ocurren cuando las velocidades del viento son menores a 6 m/s, debido a que por sobre este umbral disminuye la disponibilidad de alimento (insectos) y se dificulta en extremo el vuelo de los murciélagos. Por otra parte, las aspas de los aerogeneradores de gran tamaño generalmente, no giran a velocidades del viento inferiores a 3 m/s. Por lo tanto, la mayor probabilidad de colisión-barotrauma se da con velocidades de vientos entre 3 m/s y 6 m/s (SEA, 2015). Las colisiones son especialmente relevantes en sitios de importancia biológica, como son los lugares de alimentación y reproducción.

En relación a los elementos lineales del paisaje, estos son utilizados por los murciélagos como guía para desplazarse, por lo cual la instalación de aerogeneradores en forma adyacente a estos elementos pueden incidir favorablemente en la probabilidad de colisión (SEA, 2015).

Los relevamientos de murciélagos en el sitio específico y área de influencia pueden realizarse por diferentes métodos. Una síntesis de ello se encuentra en la siguiente tabla. Para el estudio de los comportamientos de migración, forrajeo y uso de hábitat de los murciélagos, se sugiere revisar las propuestas metodológicas de Kunz y Parson (2009) y OMNR (2011).

Categoría	Método	Resultado
Captura	Redes - niebla	Riqueza / tasa de captura por especie
Registro visual	Observación directa	Presencia - ausencia de especie
	Fuente de luz	Presencia - ausencia de murciélagos
	Búsqueda de refugios	Presencia - ausencia de murciélagos
Registro acústico	Detectores ultrasónicos	Riqueza / presencia - ausencia de especie
	Playback	-
Registro indirecto	Observación de fecas	Presencia - ausencia de murciélagos

Tabla 3.1 Síntesis de métodos y técnicas para el levantamiento de información de línea de base de murciélagos. Fuente: Kunz y Parson (2009) y OMNR (2011).

Se presentan a continuación, a modo orientativo, algunas medidas de mitigación a tener en cuenta. Debe tenerse en consideración, que las medidas deben ser adecuadas a las especies que se verán particularmente afectadas por el proyecto (elaborado en base a Drewitt y Langston, 2006; SEA, 2015; IFC, 2015; Sarasola, 2017) :

» Evitar la elección de zonas de hábitats críticos y que intercepten rutas de desplazamiento de aves y murciélagos, para la instalación de centrales eólicas, tanto en continente como en mar (offshore). En lo posible, deben elegirse zonas apartadas de áreas críticas para la conservación de estas especies, tanto las que estén legalmente protegidas, tengan algún reconocimiento (como por ej. AICAs) o revistan importancia para la conservación de la biodiversidad. Especial atención deben recibir las aves acuáticas, las rapaces y las aves amenazadas que migren, se desplacen a otras áreas de invernada, o se críen en zonas cercanas por su especial sensibilidad a los riesgos de la actividad.

» Evitar localizar las centrales en sitios tales como pasos de montaña y área de concentración o reproducción de aves como humedales.

» Evitar la disposición lineal de los aerogeneradores para disminuir el riesgo de colisión.

» Evitar la incorporación de construcciones especiales que puedan atraer a las aves como lugares de refugio o reproducción.

» Al instalar turbinas cerca de elementos que representen un obstáculo para el paso de las aves (árboles, colinas, cerros, lomas) se aconseja dejar una zona libre.

» Minimizar el efecto barrera dejando la menor distancia posible entre turbinas, evitando la alineación perpendicular a las principales trayectorias de vuelo, y proporcionando en cambio, corredores alineados con éstas entre filas.

» Aumentar la visibilidad de las palas del rotor utilizando pinturas de alto contraste podría ayudar a reducir el riesgo de colisión, aunque esta medida también podría representar un impacto sobre el paisaje. Otra posibilidad sugerida, es pintar las hojas con pintura ultravioleta, lo que podría mejorar su visibilidad para las aves.

» Cuando sea posible, instalar cables de transmisión en forma subterránea en zonas con altas concentraciones de aves, especialmente en el caso de especies vulnerables a las colisiones.

» Señalizar las líneas aéreas con deflectores y mantener una adecuada separación entre cables de diferente polaridad para evitar mayor la electrocución de las grandes rapaces al contactar con ellos.

» Planificar la fase de construcción para que no coincida con períodos de reproducción o migración de aves.

» Evitar atraer a las aves a fuentes predecibles de alimento que sean de carácter antrópico como por ejemplo contenedores de residuos mal gestionados. También se debe prevenir o sanear basurales a cielo abierto que se generen en las proximidades de la central eólica.

» Si la central se ubica en las proximidades de áreas de alto valor de biodiversidad, se debe considerar la limitación de la actividad y de parada, cuando representen un mayor riesgo para la colisión-barotrauma de murciélagos.

» En centrales offshore se deben programar los viajes de mantenimiento con el objeto de minimizar la perturbación que pueden producir las embarcaciones y los helicópteros utilizadas.



Para medir la efectividad de las medidas adoptadas, se deben realizar medidas específicas de control y monitoreo. Es importante que el monitoreo esté diseñado por profesionales especializados en las aves que serán objeto de las medidas de protección.

» *Monitoreo de la tasa de mortalidad de aves y murciélagos* debido a la colisión contra aerogeneradores, cables o estructuras de líneas de transmisión, o a electrocución por contacto con componentes de la infraestructura eléctrica. La búsqueda de carcasas es el principal método utilizado para monitorear este aspecto y consiste en la recolección periódica, mediante caminatas en cercanías de las instalaciones de la central. Para lograr resultados representativos, deben tenerse en cuenta algunas limitaciones propias de la metodología como, por ejemplo: la frecuencia, intensidad y eficiencia de búsqueda, o la posible remoción de carcasas por carroñeros. En términos generales, la frecuencia propuesta para la realización de las campañas ronda de 1 a 3 años durante la fase operativa (IFC, 2015; SEA, 2015).

» *Censo de avifauna para el monitoreo de variaciones en la densidad de individuos de especies presentes en el área de influencia de la central eólica, por pérdida o deterioro del hábitat y molestias.* En términos generales, la frecuencia propuesta para la realización de las campañas ronda de 1 a 3 años durante la fase operativa (IFC 2015; SEA, 2015) .

» *Monitoreo de aves migratorias.* Se debe evaluar la necesidad de monitorear exhaustivamente la migración de determinadas especies, con el objeto de detener momentáneamente el funcionamiento de los aerogeneradores cada vez que éstas atraviesen la zona de la central eólica en su trayecto migratorio. Para ello, se deben tener mapeadas las rutas migratorias estacionales, así como utilizar sistemas de avistaje de aves de alerta temprana. Pueden requerirse observadores especializados y sistemas de radar que permitan la detección automática y la detención selectiva y a demanda de las turbinas (IAIA, 2017). Es importante planificar estas medidas junto a instituciones científicas, académicas, autoridades ambientales y la comunidad en general.

Riesgos sobre la seguridad y navegación aérea

Los extremos de las palas de los aerogeneradores pueden alcanzar actualmente alturas de hasta 250 m, y es muy probable que esta altura sea superada a medida que la tecnología evoluciona, ya que de esta manera es posible captar vientos más intensos, que soplan a mayor altura.

La localización de centrales eólicas en cercanías de aeropuertos, aeródromos, o rutas conocidas de vuelo, representa un riesgo para

la seguridad aérea debido a posibles colisiones o alteraciones del movimiento aeronáutico.

Por otro lado, las localizaciones de centrales eólicas en cercanías de radares aeronáuticos pueden afectar su funcionamiento al provocar distorsiones en la señal. Esto 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 aérea. Estos efectos los originan las estructuras físicas de las torres/aerogeneradores y las palas en rotación (IFC, 2015).

Entre las medidas de mitigación, en primer lugar, se debe evitar la localización de centrales eólicas en cercanías de aeropuertos, aeródromos, o rutas conocidas de vuelo. A la hora de seleccionar el emplazamiento de los aerogeneradores, debe tenerse en consideración la existencia de instalaciones similares cercanas, a los efectos de evaluar potenciales impactos acumulativos, que pudieren aumentar los riesgos al movimiento aeronáutico local.

Se debe consultar a las autoridades aeronáuticas competentes (ANAC, PSNA, etc) sobre las condiciones a cumplir para que el proyecto se ajuste a las normas de seguridad del tráfico aéreo.

3. Energía solar

Características típicas de los proyectos y sus actividades

El aprovechamiento de la energía solar requiere del uso de dispositivos que capten la energía proveniente del sol y la transforman en otra forma de energía, compatible con la demanda que se pretende satisfacer. Para realizar estas transformaciones existen dos alternativas posibles: a) Conversión fototérmica, que transforma la energía solar en energía térmica; b) Conversión fotovoltaica que transforma directamente la energía solar en energía eléctrica.

La energía solar puede clasificarse como activa cuando se capta mediante el uso de algún tipo de dispositivo (paneles solares, colectores solares, etc.) o pasiva, cuando se recibe y aprovecha directamente, como en el caso de la arquitectura bioclimática.

Entre sus limitaciones se destaca el hecho de ser una fuente de energía dependiente de la intensidad de radiación recibida, de los ciclos diarios y anuales y de las condiciones climáticas del lugar.

Centrales solares. Son todas aquellas instalaciones que utilizan la energía recibida del sol como fuente para la generación de energía

eléctrica. Existen dos categorías de centrales solares de acuerdo al tipo de tecnología utilizada: Centrales solares fotovoltaicas (CSF) y Centrales de energía solar concentrada (CESC).

Centrales solares fotovoltaicas. La tecnología fotovoltaica permite la conversión directa de la energía lumínica en energía eléctrica, mediante la utilización de materiales semiconductores con efecto fotoeléctrico. Al ser expuestos a la luz del sol, estos materiales absorben fotones y liberan electrones, que son utilizados para generar la corriente eléctrica. El material semiconductor constituye las celdas o células fotovoltaicas que, agrupadas, conforman los paneles fotovoltaicos. Estos paneles pueden estar montados sobre estructuras fijas o móviles para el seguimiento del sol. El área donde se ubican los paneles fotovoltaicos se denomina campo o parque solar.

Existen diferentes tipos de celdas fotovoltaicas con el mismo principio de operación, siendo la tecnología de celdas de silicio cristalino, la de más amplia utilización en la actualidad. Se trata de un conjunto de celdas fotovoltaicas rígidas, construidas con silicio cristalino, montado sobre un soporte fijo o móvil de acero.





Parque Solar Cauchari. Fuente: www.argentina.gob.ar

En general, una central eólica fotovoltaica se compone de los siguientes elementos:

- » Paneles solares
- » Caminos de acceso e internos de servicio
- » Inversores y estación transformadora
- » Edificio de operación y control

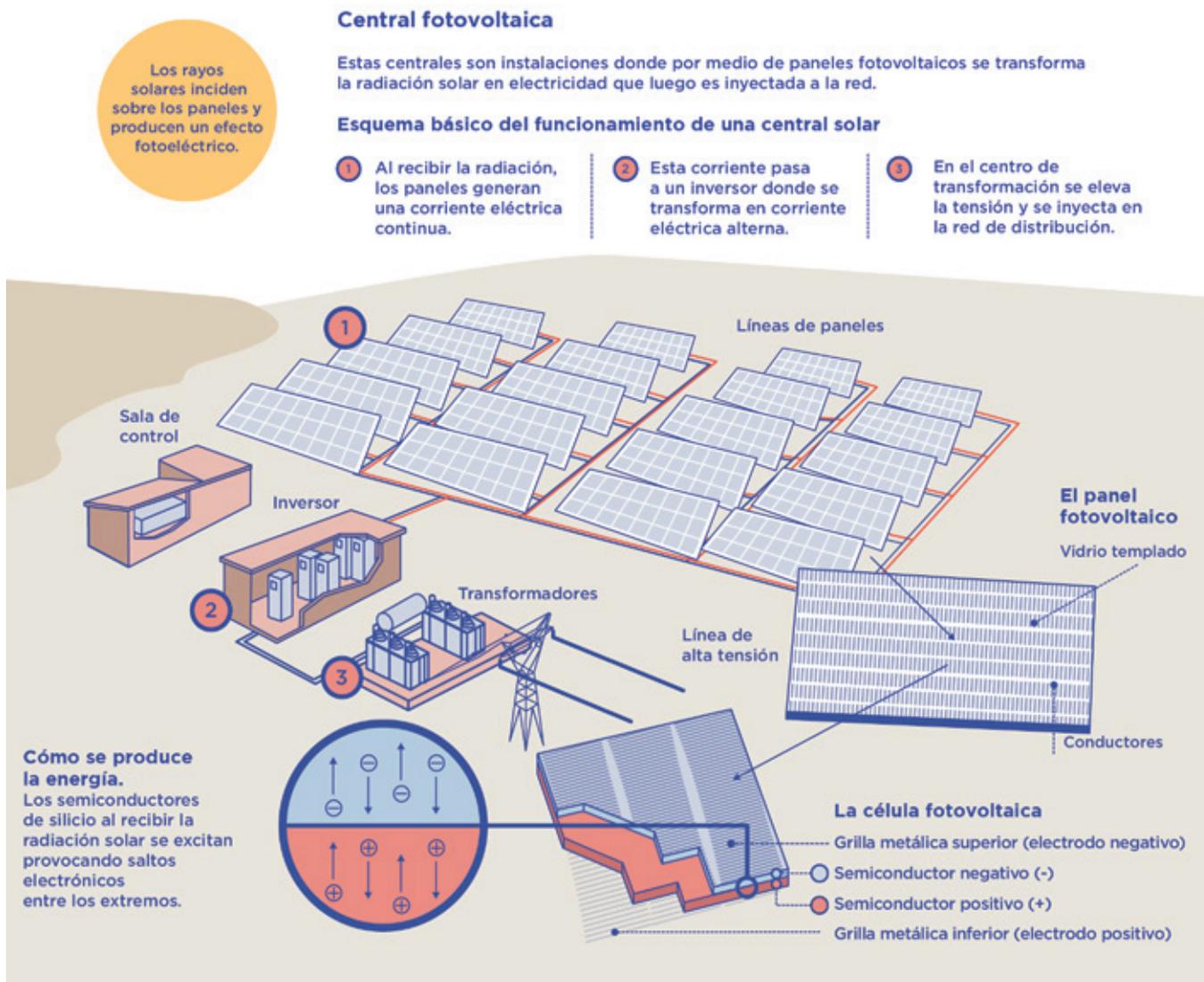


Figura 3.5. Esquema central fotovoltaica. Fuente: elaboración propia.

¹² Fuente: <https://www.argentina.gob.ar/noticias/el-parque-solar-cauchari-generara-energia-para-abastecer-mas-de-100-mil-hogares>

Centrales de energía solar concentrada. Estas centrales utilizan espejos (concentradores) que reflejan y concentran la radiación solar sobre una cañería (receptor solar), en cuyo interior se hace circular un fluido térmico que eleva su temperatura acumulando energía térmica. Este fluido térmico es circulado a un intercambiador de calor donde se genera vapor de agua que hace funcionar una turbina donde se produce la energía eléctrica. La electricidad generada es conducida hacia una subestación eléctrica donde se incrementa su tensión para ser incorporada a la red de interconexión.

La superficie en la que se instalan los reflectores se denomina campo o parque solar. El espacio ocupado por las instalaciones para la generación de energía eléctrica se denomina *isla de potencia*.



Central CESC Crescent Dunes Solar Energy Facility, Nevada, Estados Unidos.
Fuente: Extraído de National Renewable Energy Laboratory: "hp-crescent-dunes"
<https://www.nrel.gov/solar/>

Existen distintos métodos para la captación y uso de la radiación solar:

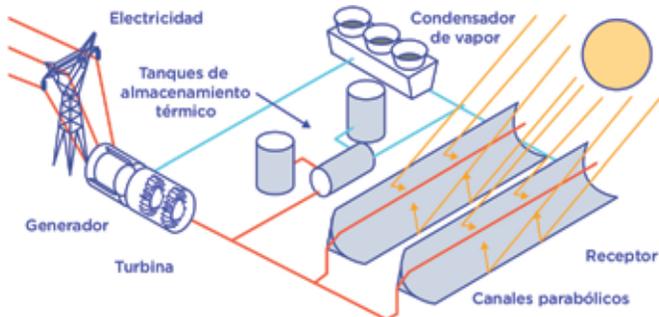


Figura 3.6. Esquema de una CESC de cilindro parabólico. Fuente: elaboración propia.

CESC de cilindro parabólico: utilizan espejos cilindro parabólicos que siguen el movimiento del Sol. La mayoría de las CESC en funcionamiento y en construcción en el mundo corresponden a esta tecnología.

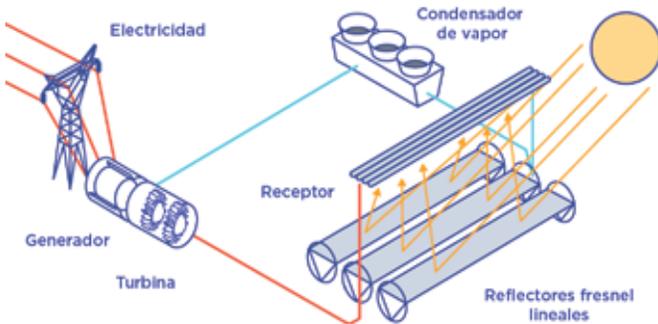


Figura 3.7. Esquema de una CESC lineal fresnel. Fuente: elaboración propia.

CESC lineal fresnel: utilizan filas paralelas de espejos planos o semicurvos que siguen el movimiento del Sol y se ubican por debajo del receptor solar.

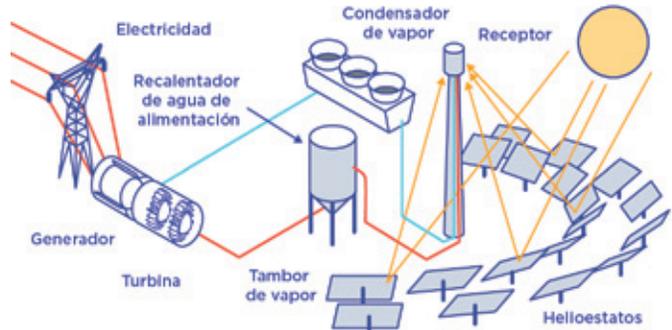


Figura 3.8. Esquema de una CESC torre de concentración. Fuente: elaboración propia.

CESC torre de concentración: el receptor solar está ubicado en la parte superior de una torre de gran altura, rodeada por una serie de heliostatos que dirigen y concentran la radiación solar sobre él. Los heliostatos cuentan con un sistema de seguimiento del sol. La torre puede localizarse al centro o al costado del campo solar y el área de emplazamiento de la torre se denomina *isla de potencia*.

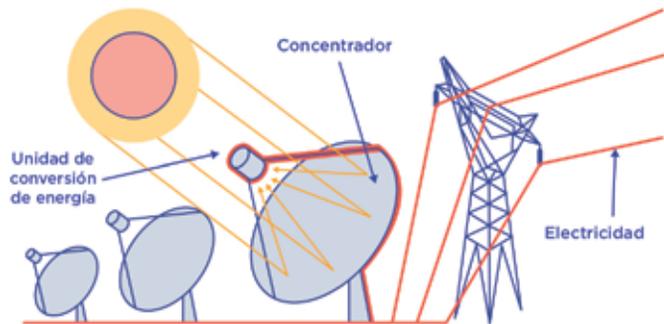


Figura 3.9. Esquema de una CESC de disco parabólico. Fuente: elaboración propia.

CESC de disco parabólico: utiliza receptores solares instalados sobre un conjunto de espejos dispuestos en forma de disco, asemejando una antena parabólica que, siguiendo el movimiento del Sol, concentran la radiación solar en el punto focal donde se ubica el receptor.

Actividades de un proyecto de energía solar. Las actividades principales para la etapa constructiva son: acondicionamiento del terreno para el emplazamiento; utilización de vehículos y maquinarias; transporte de insumos, residuos y mano de obra; construcción, operación y retiro de las instalaciones auxiliares; construcción de caminos; excavación, construcción y montaje de la infraestructura de captación y generación; construcción y montaje de estación eléctrica; tendido eléctrico (en superficie o subterráneo). Para la etapa operativa: funcionamiento de la central; limpieza y lubricación de los sistemas de inversores y transformadores; mantenimiento de equipamiento eléctrico, sala de control y caminos. Por último, para la etapa de desmantelamiento y cierre: retiro de infraestructura de la central y la restauración del emplazamiento.

Impactos específicos de los proyectos de energía solar

Afectación de la calidad del suelo y su uso

Este tipo de proyectos tienen una alta ocupación de superficie, en los sitios donde se implantan. En ese sentido, la afectación del uso del suelo resulta relevante.

Los paneles fotovoltaicos y los heliostatos en caso de centrales de concentración, pueden cambiar significativamente el clima local al nivel del suelo en magnitudes que podrían afectar los procesos fundamentales suelo-vegetación que gobiernan las dinámicas del ciclo de carbono. La instalación de paneles fotovoltaicos sobre el suelo puede afectar el albedo superficial, generando sombras e interceptando la precipitación y la deposición atmosférica, como así también influenciar en la velocidad del viento y turbulencia a nivel superficial (Armstrong, A. Et al 2014).

La aplicación de un sistema fotovoltaico en tierras cultivables elimina completamente esta capacidad; y difícilmente puedan generarse medidas de mitigación efectivas. En ese sentido, desde el diseño del proyecto debe tenerse en cuenta la productividad actual o potencial del suelo que se reemplaza por el nuevo uso.

Algunas de las medidas de mitigación y control recomendadas son:

- » Evitar la instalación directa sobre suelo, aprovechando por ej. el montaje sobre instalaciones existentes.
- » Evitar suelos productivos o que puedan constituir hábitat de especies sensibles (Armstrong A. et al, 2014).
- » Evaluar el uso compartido del suelo, generando condiciones que puedan albergar otras actividades productivas en paralelo, que no sean afectadas por el microclima generado o la reflexión de los heliostatos.
- » Realizar el mantenimiento periódico de las instalaciones a fin de detectar desgastes, roturas, entre otros aspectos, con carácter preventivo.
- » Realizar monitoreos permanentes (inspecciones visuales del suelo bajo los espejos y colectores), a los fines de detectar pérdidas o derrames de líquido.
- » Restaurar suelos al final de la vida útil del proyecto.

Como caso interesante a analizar, se cita el programa de la Agencia Ambiental de Estados Unidos (USEPA) que permite la instalación de granjas solares en suelos que han quedado degradados y estigmatizados por actividades pasadas, denominados 'Brownfields', integrando el desarrollo de energías renovables con el Superfund y los programas de saneamiento de suelos.

US Environmental Protection Agency Office of Solids Waste and Emergency Response's Center for Program Analysis 'Handbook on Siting Renewable Energy Projects While Addressing Environmental Issues's/f

Impactos en la biodiversidad

La demanda extensiva de superficie para la disposición de los paneles solares, el efecto barrera, y la alteración del ecosistema del suelo, afecta la biodiversidad por pérdida de hábitat y disturbio en áreas críticas. Por tal motivo, los estudios de línea de base de proyectos de energía solar, deben prestar especial atención a la superficie afectada en términos de hábitat.

Se deben considerar las distintas categorías de áreas de conservación establecidas en la Estrategia Nacional de Biodiversidad y las especies amenazadas incluidas en los reportes nacionales o internacionales (ej. lista roja de UICN), así como las especies protegidas definidas normativamente, tanto a nivel nacional (leyes nacionales N° 22.421 y 24.375) como a nivel provincial. Además, se deben considerar las especies migratorias que utilizan el sitio y otras especies que sean consideradas prioritarias para la conservación.

Asimismo, se debe contar con información sobre los hábitats a diferentes escalas: a nivel del sitio (condición o calidad de los hábitats), a escala de paisaje (tipo de hábitats, conectividad, fragmentación) (Lovich JE, Ennen J.R., 2011).

Los principales impactos sobre la biodiversidad están asociados al "campo solar" instalado y la perturbación que puede producir a las aves en vuelo por cegamiento, colisiones con torres de centrales de heliostatos e incluso potencial incineración (EPA, 2011); y en los insectos acuáticos por generar el efecto "falso lago", lo cual impacta en la oviposición y sitios de alimentación.

Algunas de las medidas de mitigación recomendadas, son:

- » Durante la etapa de diseño de proyecto, al momento de la selección del emplazamiento se debe tener en cuenta la existencia de áreas de conservación y especies protegidas en el área de estudio, a los efectos de evitar áreas de sensibilidad ambiental crítica, desarrollar un diseño de la central de forma tal que los paneles se agrupen como islas evitando el "efecto lago".
- » Considerar instalación de salvapájaros en el cable a tierra en caso de ser necesario, y en las torres en centrales de heliostatos.
- » Contar con un plan de restauración para los casos de supresión de vegetación, relocalizando renovales de ejemplares específicos de interés florístico, o en alguna categoría de amenaza.
- » Establecer medidas compensatorias para impactos negativos significativos residuales que aseguren la pérdida neta cero de biodiversidad.
- » Llevar a cabo censos estacionales de fauna para monitorear las variaciones en la densidad de individuos de especies presentes en el área afectada al proyecto, por pérdida o deterioro del hábitat y molestias.

Uso de agua

Si bien el consumo de agua en las centrales solares es menor que para otros proyectos de generación energética (Southern Environmental Law Center's Solar Initiative, 2017) es importante considerar el consumo de agua en mantenimiento. Las centrales solares utiliza agua para el lavado de las superficies de los campos solares (paneles y heliostatos), lo cual podría afectar la disponibilidad de agua, especialmente en zonas de mayor heliofanía (donde los proyectos de aprovechamiento de energía solar tienen mayor potencialidad) y con escasa reserva hídrica, por lo que un uso inadecuado de dicho recurso podría tener impactos significativos sobre el ambiente.

Debe estudiarse la disponibilidad del recurso hídrico y los usos del mismo, en particular los usos consuntivos de la población; y evaluar su afectación por los requerimiento de agua del proyecto (mantenimiento y limpieza de paneles).

Entre las medidas de mitigación recomendadas se mencionan:

- » Considerar una inclinación de paneles mayor a 5°, fundamentalmente en los emplazamientos con dispersión de material particulado (se considera que con pendientes menores de 5° se puede acumular 5 veces más de material particulado) (Shapito, D., 2015). En los ambientes con mucha resuspensión de polvo se recomienda aumentar esta inclinación, aún cuando esto represente sacrificar máximos de captación a inclinaciones menores. Debe tenerse en cuenta que además de obstruir la superficie, la acumulación de polvo y suelo puede limitar la vida útil del panel. Existen referencias de inclinaciones óptimas recomendadas para diferentes emplazamientos y momentos del año. En algunos casos se han sugerido inclinaciones óptimas para la captación, entre 15° y 25°, que a la vez contribuyen a evitar la acumulación de material particulado (Cano, J. et al, 2014).
- » Priorizar el uso de agua por parte de la población.
- » Limitar el uso del agua para limpieza en épocas de estrés hídrico.
- » Hacer uso eficiente del agua aún cuando el recurso esté ampliamente disponible.
- » Almacenar agua de lluvia para destinar a limpieza de los mismos.
- » Usar equipamientos y técnicas de limpieza optimizados, que utilizan spray a alta presión adicionado con surfactantes aniónicos; y en la medida de lo posible recurrir a sistemas de limpieza alternativos en seco (aire a presión, rodillos limpiantes, sistemas robotizados de limpieza en seco) (B. Aragón, 2011).

Impacto lumínico

Además del impacto lumínico sobre la fauna (ej. insectos, avifauna) ya señalados en el apartado de biodiversidad, las centrales solares con paneles reflectantes y/o heliostatos, pueden generar impactos lumínicos en los pobladores y trabajadores de la cercanía, produciendo deslumbramiento e incluso afectación ocular.

El impacto lumínico de las superficies reflectantes también puede generar encandilamientos en el transporte por carretera o aire. Este es un aspecto importante al diseñar plantas solares con dispositivos de seguimiento solar. Existen estudios específicos sobre destellos (“glint” haz puntual) y reflejos (“glare” resplandor continuo en la superficie) que evalúan la trayectoria del haz lumínico (también denominado “rastros o huella de reflexión del rayo solar”); la duración del deslumbramiento por reflexión directa o luz dispersa lumínica; y estiman el riesgo sobre los posibles receptores y el potencial daño ocular (Ho, Clifford D. et al, 2009).

Entre las medidas de mitigación recomendadas, se mencionan:

- » Realizar estudios topográficos para emplazar los proyectos evitando cuencas visuales de poblaciones y caminos de circulación.
- » Para centrales fotovoltaicas sin concentración, seleccionar paneles con superficies no reflectantes, en particular cuando se ubiquen en predios, caminos, edificios.
- » Realizar mapas de potencial deslumbramiento, y en función de ello mejorar el acimut y los ángulos de inclinación en las centrales con seguidores solares fotovoltaicos a los efectos de reducir o evitar completamente el deslumbramiento en ciertos puntos.
- » Instalar pantallas vegetales que aislen rutas y poblaciones del alcance del haz de rayos.
- » Monitorear el deslumbramiento para verificar la eficiencia de las medidas de mitigación en el marco de una gestión ambiental adaptativa.

Generación de residuos

En relación a este aspecto, debe considerarse con particular relevancia los residuos generados de los paneles, los cuales pueden tener una vida útil del orden de 25 ó 30 años en promedio. Las dos terceras partes de los paneles fotovoltaicos manufacturados a nivel mundial son de sílice cristalina; están generalmente compuestos de más de 90% de vidrio, polímeros y aluminio, que no constituyen residuos peligrosos per se. No obstante, los paneles también incluyen otros materiales (plata, estaño y trazas de plomo) con características de peligrosidad. Los paneles de film delgado contiene un 98% de los materiales no peligrosos mencionados, combinados con alrededor de 2% de zinc (potencialmente peligroso) y semiconductores u otros materiales con características de peligrosidad (indio, galio, selenio, cadmio, telurio y plomo), típicos de los residuos de electrónica.

Hay un desarrollo creciente para minimizar los impactos de todo el ciclo de vida de estos paneles, con diseños mejorados de menor huella hídrica y de carbono, y con constituyentes con menor peligrosidad, que a la vez permitan su reciclabilidad e incorporación post-consumo en la cadena productiva (IRENA and IEA-PVPS, 2016). No obstante, al final de su vida útil o recambio por obsolescencia deberán gestionarse de acuerdo a la normativa de aplicación, y asumirse compromisos en cuanto a la jerarquía de gestión:

- » Incorporar paneles con constituyentes de menor peligrosidad y, en la medida de lo posible, variantes de diseño optimizadas que favorezcan su re inserción en la cadena de valor.
- » Seleccionar proveedores que incorporen esquemas de Responsabilidad Extendida al Productor, en el marco de la normativa, para que se favorezca el diseño de productos más fácilmente reciclables y con mayor valor post-consumo.

- » Asegurar la integridad de los mismos para evitar la contaminación y la exposición a constituyentes peligrosos.
- » Priorizar tratamientos de reciclado y recuperación de materiales, frente a la disposición final, a la hora de decidir la gestión.

4. Energía geotérmica

Características típicas de los proyectos y sus principales actividades

Se entiende por energía geotérmica al aprovechamiento del calor proveniente del interior terrestre, ya sea para su aprovechamiento directo, transformación en energía eléctrica o refrigeración.

Existen dos formas básicas de uso del recurso geotérmico:

- » Uso directo del calor, para calefacción, procesos industriales, secado de frutas y vegetales, calentamiento de suelos de cultivos en zonas frías o para derretir la nieve de los caminos.
- » Uso del fluido geotérmico para generación de energía eléctrica, utilizando instalaciones similares a las usinas térmicas convencionales.

Los posibles aprovechamientos de un acuífero hidrotermal dependen de la temperatura del agua o vapor disponible (Secretaría de Energía, 2008), a saber:

- » Agua templada hasta 40°C: uso en piscicultura.
- » Agua caliente entre 40 y 100°C: usos térmicos y agrarios (calefacción; balneoterapia; agricultura y ganadería; procesos de fermentación).
- » Vapor saturado entre 100 y 180°C: uso en procesos productivos; operaciones de descongelamiento; secado de madera, harinas, pescado y cemento; destilación de agua pesada; etc.
- » Vapor saturado a más de 180°C: uso para generación de energía eléctrica.

Etapas del proceso de explotación de la energía del recurso geotérmico. En una primera etapa, denominada de prospección o reconocimiento, se realizan estudios geológicos, hidrogeológicos y geofísicos con diferentes métodos directos e indirectos que

abarcan áreas de más de 10.000 km², a efectos de detectar las zonas de mejores posibilidades para continuar la exploración. La segunda etapa, de exploración y pre factibilidad, permite definir las características del yacimiento geotérmico para determinar la ubicación de los pozos de exploración, abarcando superficies de entre 500 y 2000 km². En la etapa de factibilidad se verifica la posibilidad técnica y económica de aprovechamiento del yacimiento y se definen los posibles sistemas de explotación.

Los parámetros productivos de un reservorio, tales como la composición, presión y temperatura del fluido, pueden variar en el tiempo, por lo que su productividad se basa en estimaciones que deben considerar los escenarios más desfavorables a la hora de evaluar los potenciales impactos ambientales.

Las centrales de generación eléctrica a partir de energía geotérmica requieren un cierto número de pozos que permitan que el agua caliente o vapor asciendan a la superficie desde el reservorio geotérmico, los cuales se denominan pozos de producción.

En términos generales y para ejecutar una perforación: se emplaza una plataforma de perforación en el sitio seleccionado, cuyas dimensiones, al igual que el tiempo que conlleva la operación, dependen del tamaño del equipo de perforación a emplear, el que se selecciona según las propiedades del subsuelo y la profundidad del pozo proyectado. Durante la perforación, se inyecta lodo de perforación para lubricar y enfriar el trépano, extraer la roca molida, evitar el colapso de las paredes del pozo y mantener bajo control el flujo ascendente de los fluidos desde el reservorio. El pozo se reviste con tuberías y se realizan tareas de cementación para que quede entubado o revestido desde la superficie hasta el reservorio, lo que evita intercambios con acuíferos superficiales y facilita la extracción del fluido geotérmico en la etapa de producción. Luego, se realizan pruebas de producción para determinar y evaluar las características químicas y termodinámicas del fluido geotérmico. Terminados los ensayos, en la boca del pozo se monta una serie de válvulas y conexiones a tuberías.

Las centrales geotérmicas de generación eléctrica operan con diferentes tipos de procesos:

» *Proceso de vapor seco.* El vapor seco a altas presiones extraído del reservorio geotérmico se utiliza directamente para hacer rotar una turbina, la cual se encuentra acoplada a un alternador mediante un eje de transmisión que produce la energía eléctrica. Estos recursos de vapor seco son muy valiosos pero infrecuentes.

» *Proceso o ciclo binario geotérmico.* Estas plantas operan con fluidos geotérmicos líquidos que, a temperaturas de entre 107° y 182°C, atraviesan un intercambiador de calor donde se transfiere la energía calórica a un fluido externo. Dicho material, (isobutano, isopentano o una mezcla de amoníaco) tiene un reducido punto de ebullición y su vapor se utiliza para accionar la turbina.

» *Proceso flash.* Se utiliza en reservorios que contienen fluido geotérmico a elevada temperatura (mayor a 182°C) en fase líquida o mixta (vapor y líquido). En este caso, el fluido geotérmico se bombea a alta presión a un tanque en la superficie que se mantiene a una presión mucho más baja; eso hace que se vaporice rápido. El vapor se utiliza directamente para accionar las turbinas, mientras que el líquido puede ser usado en un proceso tipo binario o vaporizado en una segunda etapa del proceso flash. Actualmente esta tecnología es la más utilizada a nivel mundial. El vapor a baja presión que sale de la turbina pasa a un condensador, con el objetivo de condensar el vapor y enfriar los gases no condensables que ingresan al sistema de extracción de gases. El líquido resultante se transporta a una torre de enfriamiento donde precipitan metales pesados, azufre, silicio, carbonatos u otros compuestos, para luego ser transportado al condensador para ser utilizado como líquido refrigerante.

Tanto en el proceso flash como en el binario, el líquido que sale del sistema se reinyecta al reservorio mediante pozos de reinyección. Si la roca del subsuelo no absorbe naturalmente el fluido reinyectado se debe recurrir a la fracturación hidráulica para que el reservorio se recargue.

Es importante tener en cuenta que para que el yacimiento geotérmico sea considerado fuente renovable, la explotación debe efectuarse de manera tal que el volumen de agua caliente o vapor que se extrae de él no sea mayor que la recarga natural de agua que alimenta al acuífero.

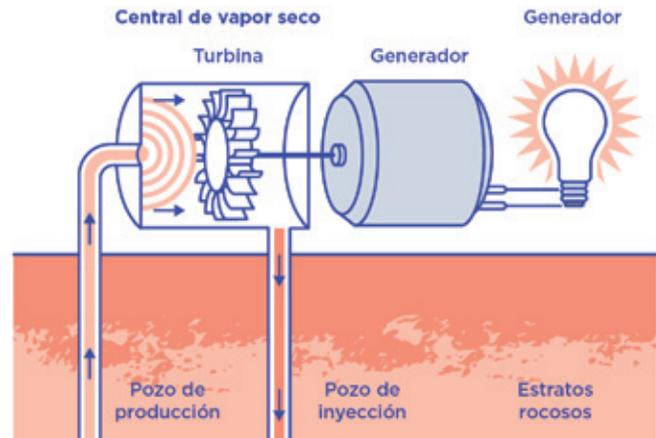


Figura 3.10. Esquema de central geotérmica. Fuente: Elaboración propia

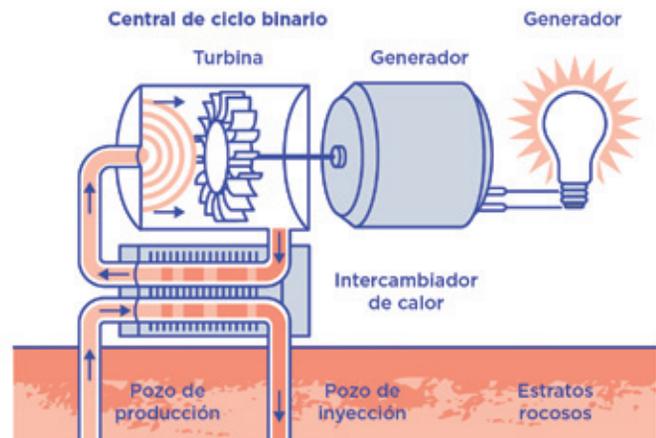


Figura 3.11. Esquema de central geotérmica ciclo binario. Fuente: Elaboración propia

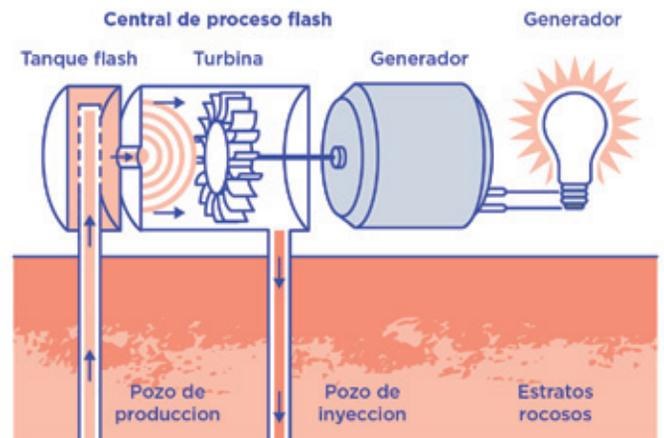


Figura 3.12. Esquema central geotérmica proceso flash. Fuente: Elaboración propia

Actividades de un proyecto de energía geotérmica. La etapa constructiva suele incluir las siguientes actividades: acondicionamiento del terreno para el emplazamiento; utilización de vehículos y maquinarias; transporte de insumos, residuos y mano de obra; construcción, operación y retiro de las instalaciones auxiliares; construcción de caminos; perforaciones de prueba, ejecución del campo de vapor (perforación de pozos de producción y reinyección), construcción de la central geotérmica con el montaje de todos sus equipos y la red de vapor, construcción del sistema de refrigeración; construcción y montaje de la subestación eléctrica. La etapa operativa suele incluir las siguientes actividades: funcionamiento de la central; mantenimiento de la planta de generación y equipamiento eléctrico; seguimiento y mantenimiento de los campos de pozos; perforación periódica de pozos de producción e inyección; procesamiento de fluidos geotérmicos y mantenimiento de tuberías. Finalmente, las actividades de desmantelamiento suponen el retiro de infraestructura de la central (incluyendo clausura de tuberías y bocas de pozo) y la restauración del emplazamiento.

La infraestructura de las centrales de energía geotérmica suele estar compuesta por: pozos para acceder al vapor y a las aguas subterráneas sobrecalentadas; turbinas de vapor; generadores; condensadores; torres de refrigeración; bombas de reinyección; tanques de almacenamiento y subestación eléctrica.

Impactos específicos de los proyectos de energía geotérmica

Afectación a los recursos hídricos

Las centrales geotérmicas implican actividades que pueden generar impactos significativos en los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos.

La extracción, reinyección y descarga de fluidos geotérmicos podría afectar a la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas. Los impactos derivados de esta actividad son la introducción accidental de fluidos geotérmicos en los acuíferos productivos más superficiales durante las actividades de extracción y reinyección, o la reducción del flujo de los manantiales térmicos calientes debido a las actividades de extracción. Los fluidos geotérmicos pueden contener contaminantes que varían de acuerdo a las características del recurso geotérmico, la mineralogía de la formación geológica anfitriona, la temperatura del agua geotérmica y los procesos específicos que se realizan en las instalaciones durante el emplazamiento.

Los estudios de línea de base deben incluir una caracterización detallada de la hidrografía e hidrogeología del área de influencia del proyecto. Además debe contemplar una modelación hidrogeológica para cuantificar las reservas y sus límites; las propiedades geotécnicas e hidráulicas de la roca de emplazamiento; las interconexiones hidráulicas entre la extracción geotérmica y los puntos de reinyección; las fuentes de agua para consumo humano; y propiedades y calidad de aguas superficiales y subterráneas.

El condensado geotérmico, derivado de la condensación del vapor usado después de la generación de electricidad, puede ser utilizado en instalaciones que contengan torres de refrigeración de agua durante el proceso de evaporación. Este condensado se caracteriza por una elevada temperatura y un reducido pH y contenido de metales pesados. Las aguas de desecho provenientes de los separadores de vapor pueden también contener metales pesados y, con frecuencia, un pH neutro. En el caso de que estos fluidos no pudieran ser reinyectados, deben almacenarse en tanques de sedimentación y/o de refrigeración con revestimiento para la captura y eliminación de gases. Asimismo, ciertos compuestos pueden precipitarse para luego almacenarlos y disponerlos como residuos sólidos. En caso de que, por sus características, sean considerados residuos peligrosos, su manipulación y disposición debe adecuarse a la normativa ambiental vigente.

La producción de vapor y los pozos de reinyección pueden realizarse durante las actividades de exploración, desarrollo, y operación. Los fluidos empleados durante las actividades de perforación pueden ser de base acuosa u oleosa, y contener aditivos químicos para ayudar al control de los diferenciales de presión y actuar contra los problemas de viscosidad. Los cortes de lodos de base oleosa son de particular preocupación debido al contenido de contaminantes derivados del petróleo que pueden requerir un tratamiento especial en el sitio o fuera de él.

Los líquidos geotérmicos usados consisten en agua de rechazo de los separadores de vapor (el agua rechazada es la que inicialmente acompaña al vapor desde el reservorio geotérmico), y los condensados después de la generación de energía (sistemas de circuito abierto). Las instalaciones que usan torres de enfriamiento de agua en procesos de evaporación, normalmente envían los condensados geotérmicos al ciclo de enfriamiento. Los condensados geotérmicos suelen tener altas temperaturas, bajo pH y contenido de metales pesados y compuestos radioactivos de ocurrencia natural (NORM por su sigla en inglés). Las aguas de rechazo de los separadores a menudo tienen un pH neutro y pueden contener metales pesados.

Los sistemas de circuito cerrado permiten que los gases y los líquidos extraídos no sean expuestos a la atmósfera por lo que en general se reinyectan al reservorio luego de entregar su calor. Sin embargo, existe la posibilidad de contaminación de las aguas subterráneas durante la reinyección, si el sistema no está bien diseñado, aislado y monitoreado.

Entre las medidas de mitigación sugeridas, se pueden citar:

- » Debe considerarse la cantidad y calidad del agua necesaria en las actividades de perforación y pruebas de inyectividad de las formaciones, procurando no utilizar el agua previamente destinado a consumo humano.
- » En la etapa de perforación de pozos y durante su tratamiento ácido se recomienda el uso de encofrados de pozo a prueba de fugas a profundidades adecuadas a la formación geológica para

evitar la filtración de fluidos acídicos que puedan alterar la calidad de las aguas subterráneas.

- » La descarga final del fluido geotérmico a un cuerpo receptor debe realizarse previa caracterización o tratamiento en caso de ser requerido y en cumplimiento con los parámetros de vuelco para ese cuerpo, siempre según la normativa local aplicable.
- » En todos los casos se debe evaluar la calidad del fluido para su reinyección o las posibilidades de su reutilización dentro de las instalaciones o fuera de ellas (por ejemplo, circuitos de calefacción, invernaderos, entre otros).

Por su parte, dentro de las medidas de control y monitoreo sugeridas, se mencionan:

- » Realizar monitoreos físico-químicos del agua que se utiliza principalmente para el funcionamiento de los sistemas de refrigeración (y puede generar cambios en el contenido calorífico del recurso en su retorno al medio), previo su vuelco autorizado. Considerar la normativa local cuando establezca niveles máximos de temperatura.
- » En caso de no reinyectar los fluidos geotérmicos usados, monitorear la calidad físico-química del vuelco, así como del curso de agua superficial receptor, considerando contaminantes potenciales en función de la línea de base ambiental.
- » En caso de reinyectar los fluidos geotérmicos, monitorear la calidad físico-química de los acuíferos activos de la zona.

Generación de residuos sólidos

Durante la etapa de perforación de pozos, pueden generarse residuos sólidos como el cutting de perforación (pequeños fragmentos de roca producto de la perforación), lodos de perforación y otros residuos asociados al mantenimiento de maquinaria y equipos.

Los potenciales impactos asociados el manejo de estos materiales dependen de las características de peligrosidad que posean, y de cómo eso se gestione dentro de las instalaciones de la central.

Como medidas de mitigación se sugieren:

- » Una vez extraídos, los lodos deben ser almacenados en piletas o tanques adecuadamente revestidos e impermeabilizados, para su caracterización y clasificación conforme la normativa local aplicable, para definir su posible destino final. En caso de no ser considerados residuos peligrosos, podrían ser reutilizados (como material de relleno o complemento de hormigón), o enviados a disposición final.
- » Si bien no se producen grandes cantidades de residuos sólidos, los sistemas de circuito abierto pueden generarlos (sílice de azufre, y precipitados de carbonatos en las torres de refrigeración, sistemas de lavado de aire, turbinas, y los separadores de vapor). Estos residuos deben segregarse y, de ser necesario, recibir tratamiento como residuos peligrosos. Su correcta segregación y disposición

final permite evitar impactos sobre la calidad del suelo y del agua. Los recintos para la disposición de residuos deben cumplir con la normativa ambiental para cada tipo de corriente de residuo, contar con identificación y cierre perimetral. El retiro periódico de residuos tanto de piletas como recintos permite evitar rebalses, voladuras y/o contingencias.

Emisiones gaseosas

Durante la etapa constructiva, los proyectos de energía geotérmica pueden producir impactos sobre el aire por emisiones a la atmósfera debido a la ejecución de actividades como la perforación de pozos, las pruebas de flujo y el funcionamiento de silenciadores de ventilación de pozos.

También, aunque no es frecuente, podrían ocurrir explosiones en pozos y tuberías durante las operaciones de perforación o en la instalación de dichos pozos. Como consecuencia, eso puede liberar gases de formaciones subterráneas.

Durante la etapa de operación, las emisiones a la atmósfera se encuentran vinculadas principalmente a los sistemas de extracción de gas no condensables, a las emisiones generadas desde el separador y del sistema o torres de enfriamiento.

El sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico (H₂S) y el mercurio (Hg) son los principales contaminantes del aire asociados a la generación de energía geotérmica. Deben considerarse las normas locales de protección del aire, ya que suelen establecerse bajos niveles de emisión para el sulfuro de hidrógeno (H₂S) (el contaminante más importante), debido a su umbral olfativo extremadamente bajo. Su liberación es un problema para los sistemas de circuito abierto que emplean tecnologías flash o de vapor seco. Además, la presencia de otros contaminantes como el arsénico en algunas áreas geotérmicas, puede ser un motivo adicional de atención.

Para determinar las posibles concentraciones de las inmisiones de H₂S y otros contaminantes que puedan producirse durante la operación, se deben realizar modelaciones de la dispersión de los gases utilizando modelos de pluma Gaussiana, los cuales incorporan factores relacionados con la fuente de emisión, el relieve de la zona y las condiciones meteorológicas locales, para estimar la concentración de contaminantes desde fuentes continuas hacia una grilla determinada o bien sobre receptores sensibles puntuales (EPA, 2015).

Los gases CO₂ y H₂S, dependiendo de su concentración al reaccionar químicamente en la atmósfera pueden producir disminuciones en el pH de la lluvia. Por lo general, los campos geotérmicos se encuentran asociados a zonas volcánicas con presencia de manifestaciones termales (fumarolas) y/o erupciones que afectan de manera natural este pH, por lo que deben efectuarse mediciones con el fin de establecer una línea de base del pH existente en las lluvias de la zona para poder evaluar si el proyecto puede producir impactos por lluvia ácida. Asimismo, en caso de verificarse concentraciones de vapores ácidos en la atmósfera deberán efectuarse estudios de corrosión. La corrosión atmosférica

es el deterioro que sufren los materiales metálicos cuando se encuentran en contacto con el aire a temperatura ambiente.

Algunas medidas de mitigación sugeridas son:

» La utilización de lavadores húmedos o secos y sistemas de reducción de fase líquida/oxidación podrá reducir las emisiones de ácido sulfhídrico (H₂S). Las emisiones de mercurio (Hg) pueden minimizarse mediante la condensación de la corriente de gas con métodos adicionales de separación y adsorción (IFC, 2007).

Cuando las probabilidades de exposición de ácido sulfhídrico para la comunidad sean significativas, se sugieren las siguientes medidas de mitigación:

- » La ubicación de las potenciales fuentes de emisión teniendo en cuenta factores ambientales como la distancia a comunidades cercanas, la morfología del área y la dirección predominante del viento.
- » Utilización de sistemas de venteo adecuado para reducir la acumulación de gases.
- » La planificación de emergencias que incluya un sistema de recepción de denuncias de la comunidad, adicional al sistema de alerta de los sistemas propios de monitoreo de la central.

Las principales medidas de control y monitoreo sugeridas son:

- » Contar con una red de monitoreo del gas de ácido sulfhídrico (H₂S), vapor de mercurio y dióxido de azufre, en la cual el número y ubicación de las estaciones de seguimiento obedezca a la modelización de la dispersión del aire y tenga en cuenta la ubicación de receptores de interés y zonas de uso comunitario y residencial.
- » Monitorear de manera continua la presencia de gas de ácido sulfhídrico (H₂S) para facilitar su temprana detección y alerta.
- » Medir las concentraciones de ácido sulfhídrico (H₂S) en boca de pozos y equipos de perforación, mediante la instalación de sistemas de monitoreo y alerta.

Impacto acústico

Durante las etapas de exploración y operación de proyectos de energía geotérmica, se llevan a cabo acciones que pueden producir contaminación acústica por la emisión de niveles elevados de ruido.

Estas actividades se encuentran relacionadas principalmente con la perforación de pozos, las pruebas de producción, la expansión instantánea del vapor, la ventilación, funcionamiento de maquinarias, vehículos y equipos (plantas de bombeo, turbinas, actividades de purga).

El ruido asociado con la operación de las centrales geotérmicas podría ser un problema en áreas pobladas donde la central en cuestión genera electricidad. Durante la fase de producción, se produce un ruido agudo por el vapor que recorre las tuberías y por la descarga ocasional de ventilación, así como el de las columnas de enfriamiento (Gehring, Loksha, 2012).

La estimación del impacto previsible de la nueva actividad por la emisión de ruido se determina con una evaluación de impacto acústico, comparando el nivel sonoro entre el estado preoperacional y el de la fase operativa del proyecto.

Los niveles de ruido en el estado preoperacional, pueden estimarse mediante mediciones directas de ruido de fondo o mediante cálculos teóricos. Los niveles esperados de ruido en la fase operativa, se calculan mediante el uso de modelos predictivos de ruido.

La adecuación legal de los niveles de ruido previstos para el proyecto, dependerá de cada normativa local. Las normas suelen establecer como criterio, rangos máximos de diferencia entre los niveles acústicos en los estados preoperacional y operacional, y en algunos casos, valores límite de emisión en estado operacional. Asimismo, las mediciones de ruidos deben realizarse conforme las normativas aplicables, dependiendo del tipo de proyecto y su localización. En caso de que no se cuente con normativa local de regulación de ruido ambiental, se recomienda la utilización de la norma IRAM 4062 de ruidos molestos al vecindario.

Se deben monitorear los niveles de ruido sobre receptores sensibles durante la etapa de construcción y operación.

Actividades sísmicas

Durante las etapas de construcción y operación de proyectos geotérmicos su puede provocar eventos de sismicidad inducida asociada con la extracción y reinyección de fluidos, y en el peor de los escenarios pueden desarrollar algún grado de deformación y/o colapso del terreno.

En aquellos casos donde los campos geotérmicos estén localizados en zonas de baja permeabilidad es frecuente que se utilice la hidrofracturación, la cual también es una fuente potencial de sismicidad inducida.

La estimulación de reservorios mediante la inyección de fluidos para la mejora del sistema geotérmico puede generar movimientos sísmicos de muy baja magnitud.

El éxito en la exploración y el desarrollo de un campo geotérmico depende enormemente de los esfuerzos para localizar las zonas de fracturas y las fallas que controlan la circulación de los fluidos bajo la superficie. Normalmente, los campos geotérmicos están localizados en zonas de baja permeabilidad (poca porosidad) y las fracturas son el medio por el cual se mueven los fluidos para extraer el calor almacenado en la roca matriz.

En geotermia es muy usada la hidrofracturación para aumentar la transmisibilidad y la permeabilidad de la roca. Consiste en la ampliación, o agrandamiento de las redes de fisuras existentes en los materiales atravesados por un pozo, gracias a la acción de un fluido inyectado a alta presión en el interior del mismo, donde el principal objetivo es que la presión de inyección supere la presión de confinamiento.

En los estudios de línea de base se debe recopilar antecedentes sísmicos y datos geológicos (estructuras, tectónica) con los cuales, mediante la aplicación de modelos predictivos, se puede estimar y pronosticar la magnitud potencial de sismicidad inducida y su radio de influencia.

Algunas de las medidas de mitigación, control y monitoreo pueden ser:

- » Instalar sensores de movimientos de tierra (red microsísmica).
- » Monitorear y reportar los datos operacionales y eventos.
- » Contar con un plan de contingencias para este tipo de eventos.

5. Energía marina

Características típicas de los proyectos y sus principales actividades

El movimiento del agua de los mares y océanos del mundo constituye una importante fuente de energía cinética que se puede aprovechar para generar energía eléctrica. El término energía marina abarca tanto la energía del movimiento de las olas o undimotriz, como la obtenida a partir del ascenso y descenso de las mareas o mareomotriz.

Energía undimotriz. Los sistemas utilizados para captar la energía del oleaje, denominados comúnmente WEC (*Wave Energy Converter*), se clasifican en función de diversos criterios.

Clasificación en función de la ubicación de los dispositivos respecto de la *línea de costa*:

- » En tierra (onshore) o de primera generación: utilizan dispositivos apoyados sobre el suelo en aguas poco profundas.
- » Cerca de la costa (nearshore) o de segunda generación: utilizan dispositivos anclados o flotantes, ubicados a corta distancia de la costa donde la profundidad del mar se halla comprendida entre 10 y 50 m.
- » Lejos de la costa (offshore) o de tercera generación: utilizan dispositivos sumergidos o flotantes, a distancias de la costa donde la profundidad del mar varía entre 50 y 100 m.

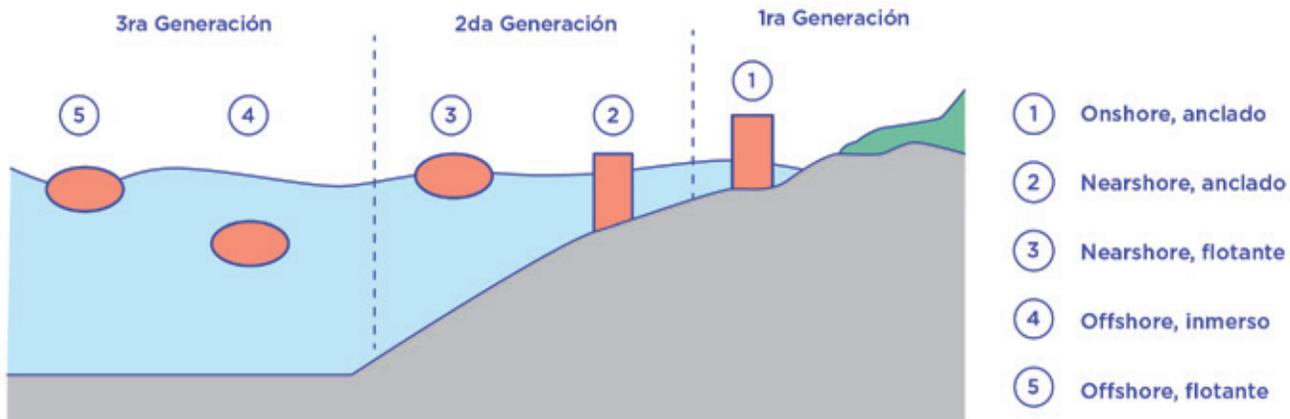


Figura 3.13. Tecnologías para la captación de energía del oleaje clasificadas en función de su ubicación respecto de la costa.

Fuente: Basado en Bald, et.al (2013)

Según el *principio de captación*:

- » Sistemas por diferencia de presión: utiliza una cámara abierta por debajo del nivel del mar, en la que el movimiento de las olas hace subir y bajar un flotador.
- » Sistemas de rebosamiento: las olas inciden en una estructura que fuerza al agua a pasar por encima de ella, lo cual consigue aumentar su energía potencial y/o cinética.

- » Sistemas de impacto: las olas inciden en una estructura articulada o flexible que actúa de medio de transferencia.

Según el *comportamiento dinámico*:

- » Pasivos: la energía se extrae directamente del movimiento de las olas.
- » Activos: la energía se extrae del movimiento relativo que se origina entre las partes fijas y móviles de la estructura a causa de la acción de la ola.

Según la *orientación respecto del frente de la ola*:

» Absorbedores puntuales: son estructuras compuestas por un elemento flotante y otro anclado en el lecho marino, que se mueven independientemente por acción de la ola, generando un efecto pistón que permite obtener energía eléctrica a través de convertidores electromecánicos o hidráulicos.

» Absorbedores puntuales múltiples: son absorbedores puntuales formados por plataformas a las que se unen muchas boyas que funcionan simultáneamente.

» Atenuadores: son estructuras flotantes, ancladas al lecho marino, de forma alargada y compuestas por varios segmentos que se orientan paralelos a la dirección de avance de las olas. Cada segmento está unido al siguiente por una bisagra que se flexiona en sentido vertical y horizontal debido al movimiento de las olas. Este movimiento es aprovechado por un sistema hidráulico para generar energía eléctrica.

» Terminadores de rebalse: se trata de estructuras ancladas al lecho marino cerca de la rompiente, que flotan de manera perpendicular a la dirección del desplazamiento de las olas. Posee reservorios que se llenan cuando las olas sobrepasan el borde de la estructura y que liberan el agua al mar a través de una abertura controlada, de manera de provocar el movimiento de turbinas encargadas de generar la energía eléctrica.

» Terminadores de columna oscilante de agua: se trata de instalaciones fijas ubicadas en tierra, perpendiculares a la dirección de desplazamiento de las olas, que posee una cámara con aire encerrado. Al romper la ola, el agua ingresa a través de una abertura subterránea a la cámara, forzando el paso del aire a través de una abertura conectada con una turbina eólica responsable de la generación de la energía eléctrica.

La mayor parte de las tecnologías onshore están integradas a muelles, diques de protección o directamente apoyadas sobre un acantilado o peñasco. El captador cuenta con una cámara de hormigón armado, dentro de la cual se ubican turbinas responsables de la generación eléctrica, movidas por el agua o la columna de aire a la que ésta desplaza.

Las instalaciones nearshore utilizan dispositivos flotantes o en contacto con el fondo. Estos dispositivos generan directamente la electricidad, y cuentan con un cable submarino que la transporta hasta tierra, mientras que los dispositivos en contacto con el fondo, bombean agua a presión hasta tierra y poseen una tubería para llevar el fluido hasta la planta donde accionará la turbina que luego generará la electricidad.

Las instalaciones *offshore* poseen estructuras flotantes captadoras de energía y un cable submarino para transportar la energía hasta la costa.

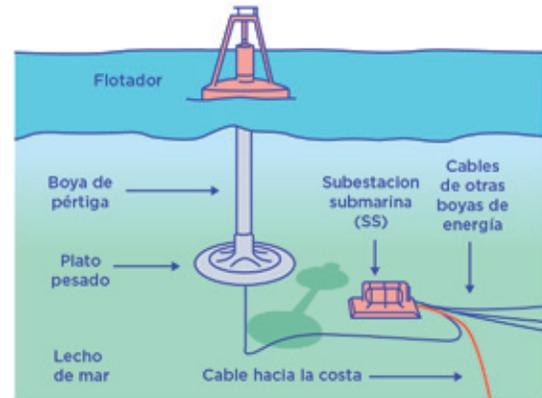


Figura 3.14. Esquema de dispositivo de energía undimotriz absorbedor puntual. Fuente: elaborado en base a EPA (2011)

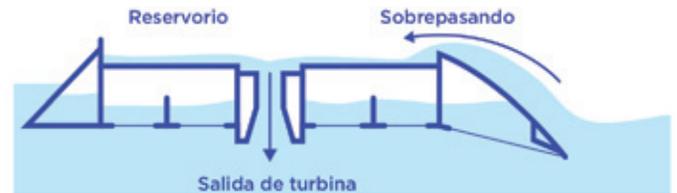


Figura 3.15. Esquema de dispositivos de energía undimotriz. Terminadores de columna de agua oscilante. Fuente: elaborado en base a EPA (2011).

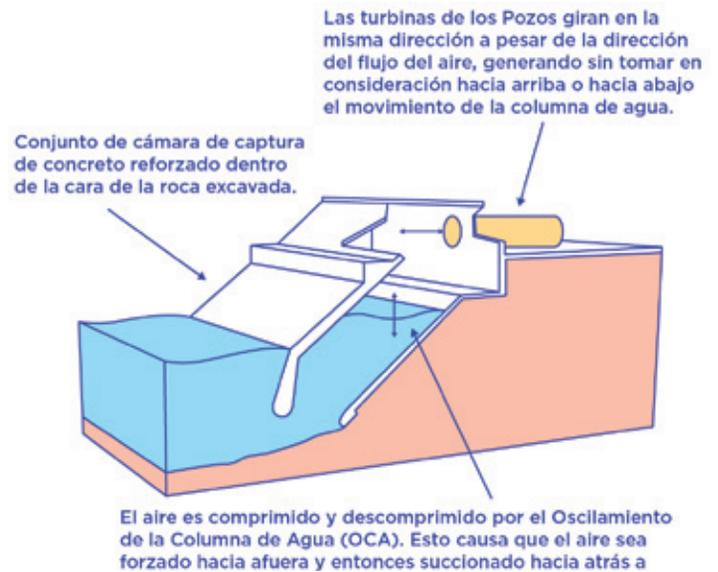


Figura 3.16. Esquema de dispositivo de energía undimotriz. Terminadores de rebalse. Fuente: elaborado en base a EPA (2011).

Energía mareomotriz. El aprovechamiento de la energía aportada por las mareas requiere las siguientes condiciones: existencia de un estuario con características geomorfológicas particulares, amplitud de marea de al menos 5 m, velocidad de marea mínima de 4 m/s. El aprovechamiento de la energía de las mareas puede darse de tres formas distintas:

» *Generadores de corriente de marea:* también llamados TSG (*Tidal Stream Generators*), aprovechan el movimiento del agua para convertir energía cinética en eléctrica.

» *Presas de marea:* operan mediante el uso de un embalse que abre y cierra sus compuertas en función de las mareas. Durante la pleamar, se abren las compuertas del dique para que el agua ingrese. Una vez alcanzado el máximo nivel dentro del embalse, se cierran las compuertas. Cuando la marea desciende alcanzando su amplitud máxima entre el nivel dentro y fuera del embalse, se abren las compuertas dejando pasar el agua a través de turbinas encargadas de transformar la energía cinética en energía eléctrica.

» *Energía mareomotriz dinámica:* también llamada DTP (*Dynamic Tidal Power*), combina las dos anteriores. Esta tecnología implica la construcción de una presa generalmente larga en forma perpendicular a la costa, para recolectar energía de las mareas que fluyen paralelas a ella. Durante el movimiento de las mareas, el agua en un lado de la presa está a un nivel más alto que del otro, por lo cual al atravesar la presa impulsa una serie de turbinas que generan electricidad. Estas turbinas son bidireccionales, ya que giran 180° después de cada marea para generar energía eléctrica en ambos sentidos, duplicando la potencia instalada.

Actividades de un proyecto de energía marina. La etapa constructiva de las centrales de energía marina suele incluir las siguientes actividades: transporte de insumos, residuos y mano de obra; utilización de vehículos y maquinarias; construcción, operación y retiro de las instalaciones auxiliares; instalación de equipos/estructuras: los propios captadores, sistemas de fondeo, cañerías y cables submarinos; y las estructuras en la propia línea de costa (plantas de generación y transformación). La etapa operativa suele incluir las siguientes actividades: funcionamiento de la central, mantenimiento de los captadores, sistemas de fondeo, cañerías y cables submarinos, y unidad de generación. Las actividades de desmantelamiento suponen el retiro de la infraestructura de la central y la restauración del emplazamiento.

La infraestructura de las centrales de energía marina varía según la variante tecnológica desarrollada que, a su vez, se halla condicionada por las condiciones geomorfológicas e hidrológicas imperantes. En general, suelen estar compuestas por:

» Dispositivos apoyados sobre el fondo en aguas poco profundas, integrados en estructuras fijas como diques rompeolas o acantilados rocosos, subestación eléctrica.

» Dispositivos flotantes, conductor eléctrico submarino, subestación eléctrica.

» Dispositivos en contacto con el lecho, tubería de agua a presión, planta de generación, subestación eléctrica.

Impactos específicos de los proyectos de energía marina

Cambios en la dinámica marina e hidrosedimentología

Durante la etapa constructiva, cuando las instalaciones requieren de la construcción de diques, espigones, obras de revestimiento, muros longitudinales o estructuras de cimentación de importante sección, se pueden producir impactos significativos sobre la dinámica marina (olas y mareas), de carácter progresivo, alcanzando su mayor desarrollo durante la etapa de operación.

En caso de hacer uso de estructuras flotantes, éstas pueden dar lugar a una reducción de la energía de olas y/o mareas en el área próxima a la instalación y, consecuentemente a ello, un aumento en las tasas de sedimentación. En el caso de estructuras fijas, durante la etapa de operación, puede producirse una reducción significativa, de mayor orden en comparación a estructuras flotantes, en la energía de olas y/o mareas en el interior del área de ocupación de las infraestructuras como consecuencia de la barrera física que estas suponen.

Los estudios de línea de base deben caracterizar minuciosamente la dinámica hidrosedimentológica del área de influencia, considerando, entre otros: parámetros de olas (longitud, profundidad de acción, altura, período, etc.), refracción de olas, tipo de rompientes, corrientes de resaca, deriva litoral, parámetros de mareas (amplitud, periodicidad, etc.).

Como es de esperar, cualquier modificación en el flujo afecta directamente a la hidrosedimentología del medio, generando nuevas zonas de acumulación y/o erosión en el área de influencia y originando cambios relevantes en el transporte sedimentario (capacidad y competencia). Se deben identificar y valorar los impactos en la dirección del transporte neto longitudinal de sedimentos, el reparto de estos en la franja litoral y en última instancia en la morfología costera. Estos efectos pueden ser más evidentes en el caso de las estructuras fijas al fondo y anclaje de elementos flotantes.

Deben preverse las medidas de control y monitoreo periódico y exhaustivo de los parámetros hidrosedimentológicos.

Modificaciones en la geomorfología costera

La afectación de la geomorfología costera puede darse tanto en proyectos de energía undimotriz como mareomotriz que utilizan estructuras fijas al lecho marino. En la etapa constructiva de dichas estructuras se pueden producir modificaciones directamente sobre la geomorfología costera. A estas pueden sumarse los impactos sobre la dinámica marina e hidrosedimentológica mencionados en el apartado precedente.

La línea de base debe incluir estudios detallados sobre la configuración geomorfológica de la costa (acantilados, plataforma de abrasión, playas, planicie y canales de marea, etc.), tipo de morfología (erosiva y/o acumulativa), y principales procesos geomorfológicos actuantes sobre la línea de costa (erosión mecánica, meteorización, bioerosión, remoción en masa, etc.). La información debe estar acompañada con mapeo geomorfológico a escala

adecuada de la línea de costa y zona de influencia del proyecto para lo cual se puede recurrir a cartografía temática, fotografías aéreas, imágenes satelitales, observaciones y medidas in situ.

Impactos en la calidad del agua

Durante la etapa constructiva de la infraestructura puede producirse un aumento del material en suspensión en la columna de agua y ocasionalmente generación de plumas de turbidez. La consecuencia más inmediata es pérdida de transparencia e incremento de la turbidez. Por otra parte, el tráfico de barcos asociado a las labores de instalación puede dar lugar al vertido accidental de hidrocarburos procedentes de las bombas de achique, aceites u otras sustancias.

Durante la etapa de operación, las fugas de contaminantes de las embarcaciones y equipos, fugas de fluidos hidráulicos, erosión de ánodos y el uso de pinturas antifouling, podrían afectar la calidad del agua. Asimismo, las embarcaciones de mantenimiento de las instalaciones pueden dar lugar al vertido accidental de hidrocarburos, aceites u otras sustancias.

Las estructuras fijas, como represas o diques, actúan como barreras, aumentando el tiempo de residencia del agua, reduciendo su mezcla, y produciendo cambios físico-químicos de relevancia. Entre ellos se puede mencionar, entre otros, los cambios de velocidad, temperatura y salinidad; estratificación; contenidos de nutrientes y oxígeno disuelto; carga sedimentaria. Si existiesen descargas de aguas servidas al estuario, podría producirse un aumento considerable en el nivel de eutroficación en la zona.

Algunas de las medidas de mitigación, control y/o monitoreo sugeridas son:

- » Realizar permanente mantenimiento de las instalaciones a fin de prevenir el vertido accidental de hidrocarburos, aceites u otras sustancias al mar.
- » Elaborar y aplicar un plan de contingencia frente a eventualidades como vertidos accidentales de contaminantes de las embarcaciones y equipo.
- » Realizar en forma permanente inspecciones visuales del entorno para detectar posibles fugas y la presencia de hidrocarburos en la superficie del agua.
- » Realizar un control periódico de los parámetros de interés en calidad de agua conforme normativa de aplicación o requisitos de la autoridad competente, justificando técnicamente el número de estaciones control, su ubicación y el número total de muestras a recoger.

Afectaciones sobre la biodiversidad marina

Los impactos en el medio natural o biodiversidad de proyectos de energía marina, se relacionan con las alteraciones del comportamiento de la vida marina, el atrapamiento y colisión de la fauna marina con las estructuras y maquinarias, la perturbación de los sedimentos de las profundidades como hábitats sensibles y de las masas de agua como sitios de alimentación.

El ruido y las vibraciones generan impactos negativos en la fauna y en la flora, perturbando su comportamiento y/o desarrollo. Estudios que

analizaron el nivel de ruido a partir del cual determinadas especies de peces y mamíferos marinos presentan un comportamiento huidizo de la fuente de ruido o vibraciones (Bald et al., 2013).

El aumento de turbidez en el agua como consecuencia de la instalación de infraestructura, afecta a las comunidades algales por la disminución de la cantidad de luz que llega al fondo, y también a los organismos bentónicos (Bald et al., 2013).

Deben considerarse los impactos asociados a las estructuras de gravedad y cables submarinos. Si la ruta del cable atraviesa comunidades de distribución reducida o de especial valor y sensibilidad, el impacto puede ser significativo, por lo cual se debe considerar evitar el paso del cableado por dichas zonas.

Durante la etapa de operación los sistemas de conversión de energía pueden alterar la dinámica marina en el agua produciendo una perturbación del hábitat y del lecho marino y su ecosistema asociado. El ruido de operación puede producir cambios de comportamiento en la fauna marina y la dispersión de las especies, debiendo considerarse también el ruido superficial, que puede producir un cambio en el comportamiento de las aves marinas (Bald et al., 2013).

Los sistemas de enfriamiento o calentamiento pueden alterar la temperatura del agua en determinados sectores y producir cambios en la composición del ecosistema. Estos impactos deben ser especialmente considerados en caso que se hayan identificado áreas protegidas y/o hábitats de especies en alguna categoría de amenaza, en el área de influencia del proyecto.

Cuando se instale la infraestructura formando barreras que dividen hábitats relativamente homogéneos, las modificaciones en el régimen de corrientes de uno u otro lado de la estructura, puede ocasionar cambios en las comunidades bentónicas del lugar. La planicie de marea, se inundará con mayor o menor frecuencia, produciendo cambios de hábitat y pudiendo afectar la cadena trófica.

Los campos electromagnéticos asociados a los conductores eléctricos tienen la capacidad de afectar fundamentalmente a elasmobranchios (tiburones y rayas) al alterar la sensibilidad de estas especies a los microcampos electromagnéticos generados por sus posibles presas y en consecuencia alterar su capacidad alimenticia (Bald et al., 2013).

Algunas medidas de mitigación, control y monitoreo sugeridas, son:

- » Evitar hábitat sensibles o de importancia para la conservación.
- » Monitorear el nivel de ruido subacuático, especialmente durante la etapa de construcción.
- » Durante la etapa de construcción y operación, realizar monitoreo del bentos, con muestreos distribuidos dentro del área ocupada por las instalaciones y a lo largo de las líneas de trazado de los cables, y al menos una estación de muestreo ubicada más allá del área de influencia estimada.
- » Realizar monitoreo de mamíferos marinos, ictiofauna y tortugas marinas.

6. Energía a partir de biomasa

Características típicas de los proyectos y sus principales actividades

Se entiende por biomasa al conjunto de materia orgánica utilizada para obtener energía. El poder calorífico de la biomasa depende de la fuente utilizada y del contenido de humedad, en general, puede oscilar entre las 3.000 - 3.500 kcal/kg para los residuos ligno-celulósicos, y las 10.000 kcal/kg para los combustibles líquidos provenientes de cultivos energéticos (Secretaría de Energía, 2008).

Las fuentes a partir de las cuales se puede obtener biomasa para su aprovechamiento energético son:

- » *Recursos forestales y forestoindustriales.* Se utilizan residuos de estas actividades (raleo, poda, cortezas, aserrín, viruta, etc.), así como cultivos energéticos de rápido crecimiento para la fabricación de carbón vegetal.
- » *Recursos agrícolas.* Se realiza el aprovechamiento energético de las partes de los vegetales descartadas por la agricultura (paja de trigo, rastrojo de maíz, tallos de algodón, cáscara de maní), o se realizan cultivos energéticos para producir materia energética (plantación de caña o remolacha azucarera para la obtención de alcohol combustible, plantación de girasol para la obtención de aceite vegetal combustible).
- » *Recursos agroindustriales.* Se pueden aprovechar efluentes líquidos de industrias como los ingenios (vinaza), las lácteas (suero) y los frigoríficos para producción de biogás. Además, se utilizan residuos industriales como el bagazo de la caña de azúcar, la cáscara de arroz o de maíz, que pueden aprovecharse mediante quema directa.
- » *Recursos ganaderos.* Se aprovechan los excrementos animales en emprendimientos de cría intensiva o feedlot, como materia prima para la producción de biogás a través de la fermentación anaeróbica, mientras que el producto de este proceso puede ser reintegrado al suelo como fertilizante.
- » *Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.* Pueden ser aprovechados como combustible para producción de vapor y energía eléctrica.
- » *Residuos cloacales.* Pueden ser empleados para la generación de biogás por medio de su fermentación anaeróbica.

El aprovechamiento energético se puede realizar mediante los siguientes procesos:

- » *Combustión directa.* Permite generar electricidad, vapor o energía térmica aprovechando la biomasa residual seca y los cultivos energéticos directamente como combustibles. Es la tecnología más sencilla y más utilizada.

» *Gasificación.* Es un proceso de oxidación parcial a temperatura de entre 500-900°C, que convierte a la biomasa en un gas que puede ser usado para generar calor y energía. Al someter la biomasa a este proceso termoquímico, se producen reacciones de pirólisis, de oxidación y de reducción que originan el denominado gas de síntesis, o syngas, que puede contener mezclas de nitrógeno (N₂), monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂), metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Si bien los poderes caloríficos son bajos (algo mayor de 1.000 kcal/Nm³), dichos gases son utilizados en la producción de calor por combustión directa en un quemador, o la generación de energía eléctrica por medio de un motor o una turbina.

» *Pirólisis.* Es el proceso termoquímico por el cual se realiza la degradación térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno, obteniendo combustibles útiles como ácidos piroleñosos, gases y biocarbones, con un poder calorífico mayor que el de la biomasa que le dio origen.

» *Procesos bioquímicos.* Son procesos basados en la degradación de la biomasa por acción de microorganismos. Se clasifican en aeróbicos y anaeróbicos. La fermentación anaeróbica se realiza en digestores, utilizando residuos del sector agropecuario, cultivos energéticos, efluentes cloacales y residuos sólidos orgánicos. Como resultado de este proceso se obtiene una mezcla de gases combustibles denominado biogás y una biomasa o digestato que puede utilizarse como fertilizante.

Alcance

El presente apartado se enfoca principalmente en los impactos de los procesos de combustión. Las consideraciones e impactos de la biodigestión se desarrollan en el apartado 7. Esta división se realiza conforme el detalle de fuentes renovables de energía establecidos en el artículo 2 de la Ley N°26.190, y con el objeto de facilitar la orientación respecto a los impactos típicos de estos tipos de energía.

Actividades de un proyecto de obtención de energía a partir de la combustión directa de biomasa.

Las actividades de un proyecto de obtención de energía a partir de biomasa pueden variar ampliamente de acuerdo al tipo de tecnología empleada y su complejidad. Entre las actividades de la etapa constructiva se pueden mencionar: acondicionamiento del terreno; construcción de caminos; utilización de vehículos y maquinarias; transporte de insumos, residuos y mano de obra; construcción, operación y retiro de las instalaciones auxiliares; construcción de la unidad de almacenamiento y manejo de materia prima y combustible; construcción de las unidades de combustión y generación de energía eléctrica, y la subestación eléctrica. La etapa operativa suele incluir las siguientes actividades: funcionamiento de la

central; transporte y manejo de biomasa; mantenimiento de las unidades de combustión y generación, del equipamiento eléctrico, de los sistemas de control de emisiones, de enfriamiento, de tratamiento del agua; y manejo de las cenizas. Las actividades de desmantelamiento suponen el retiro de la infraestructura de la central y la restauración del emplazamiento.

La infraestructura de las centrales de biomasa suele estar compuesta por: caminos de acceso; área e instalaciones de almacenamiento y manejo de la materia prima; instalaciones de almacenamiento de combustible; unidades de combustión y generación; sistema de control de emisiones; sistema de enfriamiento; sistema de tratamiento del agua; conductos de emisión gaseosa; unidad de manejo de cenizas; subestación eléctrica.

Impactos específicos de los proyectos de energía a partir de combustión de biomasa

Afectación del suelo y las aguas

El cultivo de recursos forestales o vegetales con fines exclusivamente energéticos implica una presión adicional sobre el recurso suelo disponible para el desarrollo de cultivos alimenticios en una determinada superficie. La expansión de la frontera agropecuaria genera presiones sobre áreas de vegetación nativa, bosques nativos, áreas protegidas, así como, la intensificación de la producción, sistemas de riego y el uso de compuestos químicos sobre las áreas actualmente laboreadas. Si se utilizan agroquímicos en los cultivos o durante el desbroce de tierras o para manejar la vegetación, dependiendo de las condiciones locales y la distancia a los recursos hídricos, estos contaminantes pueden afectar la calidad del agua superficial que recibe el drenaje de las zonas afectadas. Los cultivos energéticos podrían tener efectos nocivos en el suelo si los desechos y residuos agrícolas o forestales no se manejan adecuadamente. La quema o el retiro total del residuo agrícola de cosecha, puede agotar el contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo (EPA, 2011).

Independiente del origen de la materia prima utilizada, la quema de biomasa sólida para la generación de energía produce cenizas y escorias (ceniza de fondo), además, se obtienen polvos (ceniza volante) recolectados a través de los sistemas de control de emisiones como ciclones, precipitadores electrostáticos o filtros de mangas, entre otros. De acuerdo a la caracterización previa de las cenizas, las mismas podrán reutilizarse (disponerse en el suelo como fertilizante o mejorador de suelo agrícola) o segregarse como residuo para su disposición final en sitio autorizado para tal fin.

Algunas medidas de mitigación sugeridas son:

- » Considerar distancias mínimas de seguridad a cursos y cuerpos de agua superficial.
- » Establecer un manejo adecuado y programado de las cenizas durante las etapas de manipulación y almacenamiento en el predio, transporte y disposición final.

» Los restos inorgánicos deben gestionarse adecuadamente en función de su composición química, de acuerdo a la normativa vigente.

» Para los casos de utilización de las cenizas, realizar un análisis previo para conocer las concentraciones de contaminantes potencialmente peligrosos. Además, en caso de aplicación en suelo, evaluar la capacidad efectiva para neutralizar la acidez de los suelos y las concentraciones de nutrientes benéficos (en especial fósforo como P_2O_5 y potasio como K_2O).

Afectación de la calidad del agua por generación de efluentes líquidos

El agua utilizada para refrigeración de las calderas puede generar impactos negativos en la calidad del agua del curso o cuerpo sobre el que se vuelque, dependiendo de la composición química (potencial presencia de biocidas como aditivos y concentración de los mismos por evaporación durante el proceso), y de la diferencia de temperatura respecto del cuerpo receptor. Asimismo la contaminación del agua puede derivarse de la generación efluentes líquidos del lavado de filtros y sistemas de control de dióxido de azufre (SO_2) por vía húmeda; uso de desmineralizadores, combustibles, lubricantes, productos químicos inhibidores de la corrosión que contienen cromo (Cr) y zinc (Zn).

Entre las medidas de mitigación y monitoreo, se puede citar:

- » Empleo de circuitos de enfriamiento y reutilización del agua en varios ciclos, y evitar el vuelco a cursos o cuerpos de agua, mediante la implementación de un sistema de tratamiento de efluentes y otros sistemas de reuso de agua.
- » Monitoreo del efluente (temperatura y compuestos químicos de interés, de acuerdo al tipo de aditivos utilizados y la normativa vigente).
- » Monitoreo de las aguas subterráneas para comparar con estándares de calidad del recurso o por los criterios que determine la autoridad competente.
- » Monitoreo de las aguas superficiales, a los fines de analizar la evolución de la calidad de las aguas receptoras de efluentes.

Afectación de la calidad del aire por emisión de efluentes gaseosos

Los tipos y cantidades de contaminantes efectivamente emitidos dependen del tipo de materia prima utilizada en la combustión, de los parámetros de operación, y de las medidas y tecnologías utilizadas para la adecuación y minimización de emisiones a la atmósfera. En las centrales de generación de energía a partir de biomasa sólida, las emisiones gaseosas relevantes a la atmósfera son el material particulado (MP) y los gases de combustión.

El MP puede emitirse en forma difusa durante las actividades de obtención y manipulación de la biomasa en campo debido a la utilización de vehículos y maquinaria pesada (camiones, tractores, chipeadoras, trituradoras, cosechadoras); durante la manipulación y tratamiento de la biomasa en la propia central (utilización de

tractores, palas cargadoras, chipeadoras, trituradoras); y durante la disposición de cenizas producto de la combustión. Por otro lado, durante el proceso de combustión de biomasa pueden generarse emisiones que contengan hollín, MP10, y MP2,5. En cuanto a los gases de combustión, dependiendo de la composición de la biomasa, pueden emitirse óxidos de nitrógeno (NOx), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). Además, pueden generarse emisiones de ácido clorhídrico (HCl), dioxinas y furanos, y metales pesados.

La dispersión de los contaminantes se verá influida por factores del sitio o medio emisor (como el tipo de fuentes emisoras, temperatura de salida de gas, caudal de emisión, velocidad de salida); factores del medio receptor (entorno potencialmente afectado); y factores del medio difusor, es decir de la atmósfera en la que se realizan las emisiones. En este sentido, las condiciones climáticas del área condicionarán en gran medida la ocurrencia y la intensidad de impactos vinculados a las emisiones gaseosas del proyecto, por lo que debe realizarse una caracterización del área de estudio.

En forma previa a la instalación de la central, y cuando aún no se encuentran activas las fuentes de emisión, se debe establecer la concentración de fondo de los contaminantes de interés, en distintos puntos en el entorno del proyecto. Una vez que se conocen las concentraciones de fondo, deben realizarse modelizaciones de la difusión atmosférica mediante la aplicación de modelos de dispersión de contaminantes, a los fines de prever la calidad del aire en el entorno de la central producto del proceso.

Para evaluar la adecuación del proyecto a los niveles de calidad de aire, se deben identificar y cumplir las normas de aplicación. En caso de que la jurisdicción no cuente con normativa aplicable, se debe evaluar el uso de normativa de referencia. Cabe aclarar que el Ente Nacional Regulador de la Electricidad ha establecido en la Resolución ENRE 13/12, que los agentes que ingresen al MEM deben solicitar a la Secretaría de Energía, la fijación de los límites permisibles específicos y las frecuencias de monitoreo de las emisiones a la atmósfera.

En cuanto a las medidas de mitigación referidas a las emisiones gaseosas, considerar:

- » Planificar la localización considerando receptores sensibles.
- » Planificar la localización estratégica a fin aumentar la eficiencia de la logística y funcionamiento del sistema, previendo el suministro seguro y constante de biomasa de composición conocida.
- » En el caso de requerir acciones de trituración de biomasa en planta, transporte y acopio, éstas deben realizarse en recintos cerrados o protegidos para evitar la voladura de material.
- » Considerar la suspensión de las actividades de obtención de la biomasa, manipulación y tratamiento de la biomasa en la central, y disposición de cenizas en el campo, en caso de situaciones meteorológicas que intensifiquen los efectos de la emisión de polvo en ambiente.

» Para el control de las emisiones en la fuente, instalar sistemas de tratamiento de gases y MP, mediante equipos o tecnologías específicos para cada emisión contaminante. Asimismo, evaluar su funcionamiento mediante el monitoreo continuo en la fuente y la calidad de aire circundante.

» Asegurar el mantenimiento continuo del sistema de quemado de la central, incluyendo los sistemas de tratamiento de gases y líquidos, y el mantenimiento preventivo de todos los elementos que así lo requieran.

» Monitorear la calidad de aire en el entorno de la central.

Emisión de olores molestos

Si los gases de combustión del proyecto son tratados y gestionados adecuadamente, las emisiones de olores se podrían atribuir principalmente al proceso de descomposición de la biomasa. La magnitud del impacto asociado a los olores dependerá de la presencia de receptores sensibles cercanos al área de almacenamiento y sitios de traslado de la biomasa. Las condiciones climáticas del área condicionarán en gran medida la ocurrencia y la intensidad de impactos vinculados a la emisión de olores.

Entre las medidas de mitigación sugeridas se encuentran:

- » Prever la ubicación conforme potenciales receptores sensibles identificados en la línea de base ambiental e identificación de impactos.
- » Uso de cobertores, almacenamiento en lugares cerrados y secos, utilización de biofiltros e inyección de ozono (O₃).

Emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEIs)

De acuerdo a los informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), aún no está resuelto el debate científico sobre el impacto climático general relativo a la obtención de energía a partir de biomasa. Para determinar si el proyecto genera altas, bajas o neutras emisiones de GEIs, se deben considerar factores relativos a las características del sitio de emplazamiento, el tipo de biomasa y tecnología a emplear, y que el uso del suelo se gestione de forma sostenible (IPCC, 2015).

Asimismo, puede considerarse a la biomasa como un combustible bajo en carbono (C) siempre y cuando sustituya en su uso a un combustible fósil.

En este sentido, para realizar una correcta evaluación del balance de emisiones de GEIs del proyecto, debe considerarse todo su ciclo de vida. Es decir, no sólo deben calcularse las emisiones directas resultantes de la captura y emisión del carbono (C) por la biomasa y su procesamiento para la obtención de energía, sino también las emisiones indirectas producidas durante las distintas actividades del proyecto, como el cultivo, cosecha, preparación y transporte de la biomasa.

La herramienta de cálculo ex-ante del balance de carbono (EX-ACT) fue desarrollada por la Organización de Naciones

Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), para ayudar a identificar los impactos de mitigación entre varios proyectos de inversión agrícolas o forestales. El resultado principal de esta herramienta es una estimación del balance-C el cual está asociado a la adopción de opciones de gestión de tierra alternativas, comparando distintos escenarios.

7. Energía a partir de biogás de digestión anaeróbica y rellenos sanitarios

Características típicas de los proyectos y sus principales actividades

El biogás es el gas producido por la degradación anaeróbica (o en baja concentración de oxígeno) de los materiales orgánicos presentes en residuos, efluentes industriales y cloacales, residuos agrícolas o forestales. El poder calorífico del biogás está determinado por la cantidad de metano (CH₄) que contenga en su mezcla, la cual puede variar entre 45% y 70% dependiendo del sustrato a partir del cual se genere, de la tecnología utilizada y la temperatura de procesos (FAO, 2019).

El presente apartado se enfoca en los impactos de la digestión de biomasa proveniente de otros procesos productos y de residuos orgánicos de rellenos sanitarios.

Actividades de un proyecto de obtención de energía de digestión de biomasa. Los biodigestores o plantas de biogás presentan las siguientes etapas y/o procesos:

- » *Almacenamiento.* La biomasa o sustrato se almacena junto al cofermento, que sirve para potenciar el crecimiento de las bacterias que degradan la materia orgánica.
- » *Acondicionamiento.* En caso de ser necesario, se homogeniza y humecta la biomasa para alcanzar el contenido de humedad necesario para propiciar la generación del biogás.
- » *Biodigestión.* Dentro del biodigestor se produce la degradación anaerobia de la materia orgánica generándose el biogás.
- » *Acondicionamiento del digestato.* Como efluente del proceso de fermentación se obtiene el digestato, que luego de ser almacenado y acondicionado puede, usualmente, ser utilizado como biofertilizante, reincorporando nutrientes al suelo.

- » *Limpieza del biogás.* El biogás producido pasa a la fase de limpieza donde se le remueve el sulfuro de hidrógeno (H₂S) para evitar la corrosión de los equipos.

- » *Almacenamiento de biogás.* El biogás es almacenado hasta el momento de ser utilizado como combustible.

- » *Generación de energía eléctrica.* El biogás acondicionado ingresa a la turbina o motor de combustión donde se quema haciendo girar un motor que impulsa un alternador y genera electricidad.

- » *Cogeneración.* El proceso permite generar calor utilizando motores de cogeneración, que puede usarse para mantener la temperatura de los digestores o para otros fines.



Fuente: extraído de Mathier, et.al (2017)

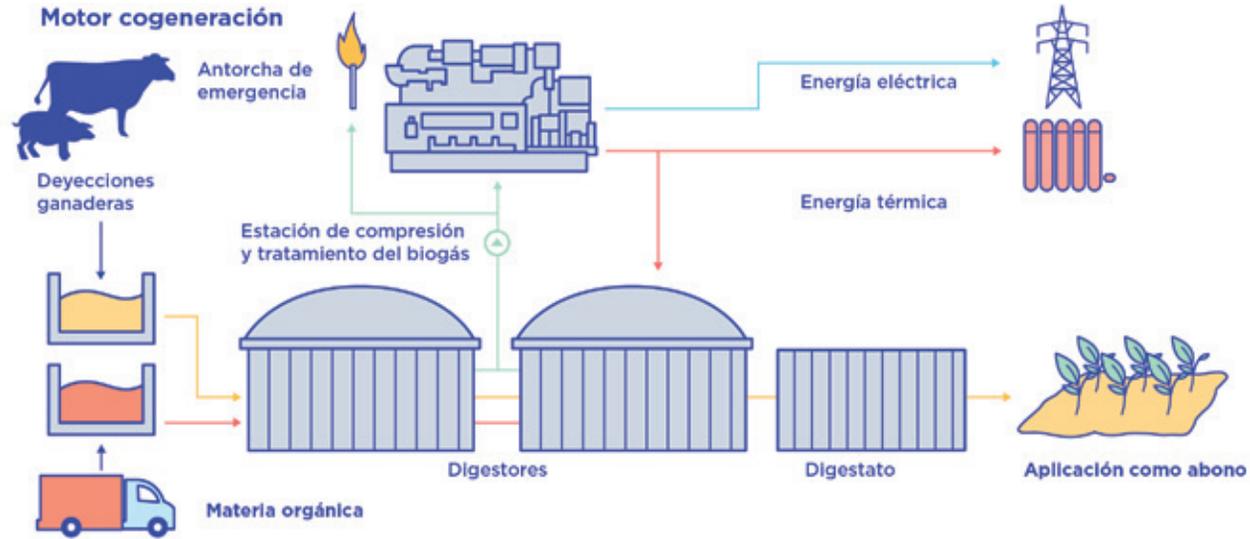


Figura 3.17. Esquema de una planta de biogás. Fuente: elaboración propia.

En cuanto al biogás de rellenos sanitarios (GRS), para su aprovechamiento energético se utilizan sistemas activos de captación del mismo, con los siguientes componentes:

- » *Pozos de extracción:* son tuberías verticales, horizontales y mixtas, con cabezales situados en la parte superior, que permiten medir el caudal y controlar la extracción de gas, eliminar el agua, realizar un manejo combinado de lixiviados y gas.
- » *Sistema de tuberías colectoras:* transportan el biogás de los pozos de extracción a la estación de aprovechamiento o incineración. Debe contar con puntos de drenaje de agua y poseer un número de válvulas suficientes para control y mantenimiento.
- » *Bombeo de extracción:* con frecuencia se usan compresores o sopladores centrífugos para la extracción del biogás. Además, deben considerarse supresores de llama en caso de auto combustión, con el fin de minimizar el riesgo de una explosión.

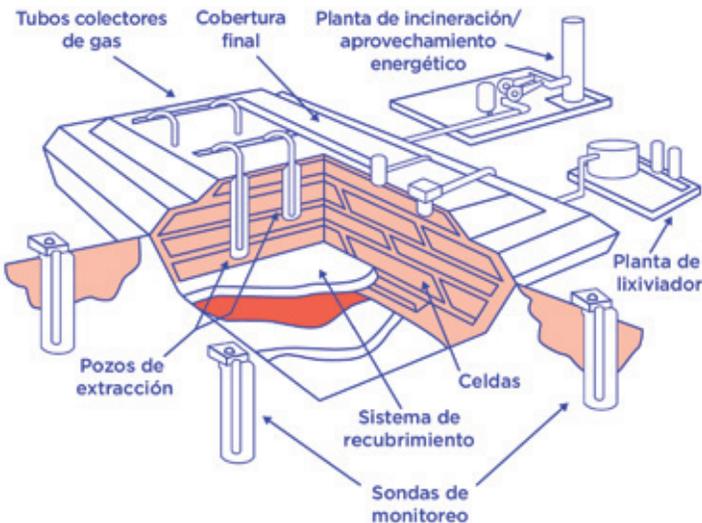


Figura 3.18. Esquema de una instalación de relleno sanitario, sistema de captación de biogás y planta de incineración o aprovechamiento energético. Fuente: extraído de Universidad de Chile (2016., p. 11)

El esquema típico de un relleno sanitario, con su respectivo sistema de extracción de biogás y una estación de incineración o, eventualmente, de aprovechamiento energético se expone en la siguiente figura.

Se utilizan motores de combustión interna, turbinas o microturbinas dependiendo de las dimensiones del relleno sanitario, requiriendo la purificación del combustible. Según el uso que se hará del GRS se aplican tratamientos que incluyen la remoción de vapor de agua, condensados, MP y espuma, o que remueven sulfuro de hidrógeno (H₂S), siloxanos, y otros contaminantes como amoníaco (NH₃), halógenos e hidrocarburos aromáticos. La finalidad es reducir aquellos constituyentes agresivos para los motores y los elementos que produzcan niveles de emisión de contaminantes por encima de los niveles permitidos.

La infraestructura de las centrales de GRS suele estar compuesta por: módulo de disposición final; sistema de extracción y tratamiento de gases y lixiviado; antorchas y sistemas de control; sistemas de aguas pluviales; unidad de generación; subestación eléctrica; tanques de combustible.

Impactos ambientales de proyectos de obtención de energía a partir de biogás de digestión anaeróbica y rellenos sanitarios

Impacto sobre suelo y agua por la aplicación en suelo del digestato

Si bien el uso del digestato sobre el suelo como fertilizante puede ser una buena práctica ambiental (considerando la reducción de la producción, transporte y uso de químicos sintéticos, además del impacto positivo para las calidad del suelo), debe considerarse que su aplicación puede liberar grandes cantidades de metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), compuestos orgánicos volátiles (COV) y amoníaco (NH₃), entre otros, según el manejo que se realice, sin contemplar la capacidad de integración con el suelo,

afectando tanto la calidad del mismo como del agua superficial y/o subterránea, por los procesos de infiltración y/o escorrentía. Además de la caracterización del digestato o residuo estabilizado que se espera obtener, la línea de base debe contar con una caracterización completa (incluyendo fragilidad ambiental, pendientes del terreno, características fisicoquímicas, etc.) del suelo que se convertirá en cuerpo receptor de los nutrientes, con el objeto de determinar su aptitud para ese tipo de uso y evitar la afectación del equilibrio ecológico de dicho componente, así como la incorporación de potenciales contaminantes presentes en los residuos tratados.

En cuanto a las medidas de mitigación se debe evitar la aplicación del residuo estabilizado en cercanías a cuerpos de agua y poblaciones, en terrenos de pendientes pronunciadas, en suelos propensos a sufrir salinización, en sitios donde el nivel freático se ubique a escasa profundidad, en suelos destinados a producción de alimentos u otras aplicaciones que no sean compatibles o impliquen riesgo alto para la salud.

Impacto sobre la calidad del aire por emisiones de la combustión de GRS

Las emisiones a la atmósfera producto de la combustión de GRS pueden estar conformadas en diversas proporciones por los siguientes compuestos: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), cloruro y fluoruro de hidrógeno (HCl-HF), material particulado (MP), dibenzo dioxinas policloradas (DDPC) y dibenzo furanos policlorados (DFPC), compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), mercurio (Hg). Cada uno de los mencionados puede tener efectos diversos en la salud y el ambiente.

Las medidas de mitigación asociadas a las emisiones gaseosas de la combustión de biogás, están relacionadas con el acondicionamiento previo de dicho combustible y en caso de ser necesario, con la instalación de sistemas de tratamiento de gases, y el monitoreo de los puntos de emisión y la calidad de aire circundante.

8. Consideraciones sobre el paisaje en los proyectos de energías renovables

Existen distintas metodologías para evaluar si un proyecto altera significativamente el valor paisajístico de una zona. Algunas de ellas incluyen la valoración subjetiva de las personas sobre el paisaje, considerando por ej. la obstrucción de la visibilidad a la zona con valor paisajístico; simulaciones de visualización de las partes y obras del proyecto mediante fotomontajes y otras técnicas.

En la determinación del atributo “valor paisajístico”, se suele considerar la artificialidad, intrusión visual, modificación de atributos estéticos.

Respecto al primer criterio, el potencial impacto es proporcional a la calidad del paisaje. En paisajes de alto valor, los impactos negativos adquieren especial relevancia, mientras que, en paisajes degradados, la ubicación de este tipo de instalaciones puede contribuir a su recuperación paisajística.

El segundo criterio implica considerar parámetros visuales, como las cuencas visuales o la incidencia visual, es decir, el número de potenciales observadores, así como la posible alteración de las vistas o perspectivas de calidad existentes. En estos casos el impacto se manifiesta por el contraste que ocasiona la central en lugares poco modificados y donde predominan elementos paisajísticos naturales.

En términos generales, los proyectos de energías solar, eólica y marina, conforme su escala y sitio de emplazamiento, pueden tener asociado impactos significativos sobre el paisaje. Para los cuales se requieren evaluaciones específicas que permitan adoptar medidas particulares para prevenir o minimizar los impactos.

Para documentar los procesos de evaluación, se recomienda elaborar mapas de zona de influencia visual y confeccionar imágenes tridimensionales y fotomontajes desde puntos panorámicos clave.

Como se señaló precedentemente, las medidas para evitar y/o minimizar los impactos visuales se asocian en gran medida con el emplazamiento y el tipo de proyecto. En términos generales, se consideran las siguientes:

- » Evitar la proximidad a sitios de alto valor paisajístico (áreas naturales protegidas, sitios de interés turístico, patrimonio histórico y/o cultura, etc.).
- » Minimizar la presencia de estructuras auxiliares, limitando al máximo las infraestructuras del emplazamiento, especialmente los caminos. También soterrando las líneas eléctricas del sistema colector.
- » En la medida de lo posible adaptar el diseño a las características del paisaje.

Bibliografía



Aragón, B. (2011) "Estudio del efecto de la limpieza de módulos en plantas fotovoltaicas", Sevilla: Escuela superior de ingenieros universidad de sevilla

Armstrong A. et al (2014) "Wind farm and solar park effects on plant-soil carbon cycling: uncertain impacts of changes in ground-level microclimate" *Global Change Biology* (2014) 20, 1699–1706, doi: 10.1111/gcb.12437.

Bald, J., Curtin, R., Díaz, E., Fontán, A., Franco, J., Garmendia, J.M., González, M., Iriondo, A., Liria, P., Menchaca, I., Murillas, A., Muxika, I., Prellezo, R., Rodríguez, J.G., Solaun, O., Uriarte, A., Uyarra, M.C., Zorita, I. y Camba, C. (2013). Guía para la elaboración de los Estudios de Impacto Ambiental de Proyectos de Energías Renovables Marinas. Informe técnico realizado en el marco del proyecto nacional de I+D CENIT- E OCEAN LIDER, Líderes en Energías Renovables Oceánicas. 75 pp.

Banco Interamericano de Desarrollo. División de Energía. (2017). Energías renovables variables y su contribución a la seguridad energética: complementariedad en Colombia. BID.

Banco Interamericano de Desarrollo. (2017). Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: un análisis teórico-práctico. División de Energía BID.

Cammesa. (2019). Energías renovables. Potencia instalada por región y tecnología. Recuperado de <https://despachorenovables.cammesa.com/potencia-instalada/>

Cano, J., Tamizhmani, G.; Madakannan, C.; Macia, N. (2014). Photovoltaic Modules: Effect of Tilt Angle on Soiling. 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2014. 10.1109/PVSC.2014.6925610.

CEARE-UBA. (2019). Proyecto Probiomasa. Guía técnica de mejores prácticas para la realización de los estudios de impacto ambiental de proyectos bioenergéticos. Buenos Aires: Centro de estudios de la actividad regulatoria energética. UBA.

CONICET (2017). Los monos argentinos en la mira. Disponible en. <https://www.conicet.gov.ar/los-monos-argentinos-en-la-mira/>

CSBI (2015). A cross-sector guide for implementing the mitigation hierarchy. Prepared by the Biodiversity Consultancy on behalf of IPIECA, ICMM and the Equator Principles Association: Cambridge UK.

Drewitt, A. L., Langston, R. H. W. (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. *The Royal Society for the Protection of Birds, Sandy*, 148, 29–42.

EPA-U.S. Environmental Protection Agency. (2011). EIA Technical Review Guidelines: Energy Generation and Transmission. Vol I & II. Washington: EPA-US.

European Marine Energy Centre. (2005). Environmental impact assessment (EIA) guidance for developers at the European Marine Energy Centre. Orkney, UK: EMEC.

FAO. (2019). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Colección Documentos Técnicos N° 12. Buenos Aires. P. 104

Gehring, Magnus; Loksha, Victor. (2012). Geothermal Handbook: Planning and Financing Power Generation. ESMAP Technical Report 002/12.

Gill, A. (2005). Offshore renewable energy: ecological implications of generating electricity in the coastal zone; *Journal of Applied Ecology* 2005; 42, 605–615.

Gobierno de Chile. (2015). Guía para la Evaluación del Impacto Ambiental de Proyectos Eólicos y de Líneas de Transmisión Eléctrica en Aves Silvestres y Murciélagos. Santiago de Chile: Servicio Agrícola y Ganadero (SAG). Ministerio de Energía de Chile.

Gobierno de Chile. Ministerio de Energía. (2012). Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental de Centrales Eólicas de Generación de Energía Eléctrica. Santiago de Chile: Servicio de Evaluación Ambiental.

Gobierno de España. Centro para el Desarrollo Industrial. (2013). Guía para la elaboración de los estudios de impacto ambiental de proyectos de energías renovables marinas. Navarra, Guipuzcoa: Azti- Tecnalia, Acciona Energía S.A.

Grupo Banco Mundial. (2015). Guías sobre Medio Ambiente, Salud y Seguridad para la Energía Eólica. Washington D.C.: IFC, World Bank Group.

Grupo Banco Mundial. IFC. (2007). Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad: Transmisión y Distribución de Electricidad. Washington D.C.: IFC, World Bank Group.

- Grupo Banco Mundial. (2012). Normas de Desempeño sobre Sostenibilidad Ambiental y Social. Washington D.C.: IFC, World Bank Group.
- Grupo de Trabajo sobre Biodiversidad para Instituciones Financieras Multilaterales. (2015). Buenas Prácticas para la Evaluación y Planificación del Manejo de Impactos sobre la Biodiversidad. Banco Interamericano de Desarrollo y Hardner & Gullison Associates.
- Grupo Banco Mundial. IFC. (2007). Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad: Generación de Energía Geotérmica. Washington D.C.: IFC, World Bank Group.
- Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2015). Cambio Climático 2014. Mitigación del cambio climático Resumen para responsables de políticas. Resumen técnico Parte de la contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Ho, Clifford D. et al, "Hazard analyses of glint and glare from concentrating solar power plants" SolarPACES 2009, Berlin, Germany, September 15-18, 2009.
- IAIA (2017) Tomé, Ricardo; Leitão, Alexandre; Canário, Filipe; Pires, Nadine & Eisa, Mahmoud. Mitigation using turbine shutdown on demand, IAIA Special Biodiversity Symposium, Washington D. C.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2011). Evaluación del potencial de energía geotérmica. Estudio Técnico PER 2011-2020. Madrid: Tecnología y recursos de la Tierra, S.A.
- International Energy Agency (IEA). (2013). Technology Roadmap. Wind energy. Paris: IEA.
- International Sustainability Carbon Certification. (2019). ISCC 202 Requisitos de Sustentabilidad para la Producción de Biomasa.
- IRENA and IEA-PVPS (2016), "End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels," International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems.
- Issues & Policies, Water Use Management, Solar Energy Industries Association, <http://www.seia.org/policy/power-plant-development/utility-scale-solar-power/water-use-management>.
- Kunz, T. H., and S. Parsons (eds.). (2009). Ecological and Behavioral Methods for the Study of Bats. 2nd ed. Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, 901 pp. ISBN 978-0-8018-9147-2.
- Ley 27.191, Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación, Boletín Oficial, 31 de marzo, BO núm. (2016)
- Ley 27270, Acuerdo de París, Boletín Oficial, de 19 de marzo, BO núm. 33464, (2016)
- Ley 24065, Energía Eléctrica Régimen General, Boletín Oficial, de 16 de enero, BO núm. 27306, (1992)
- Lokschin, L. X.; Cambará Printes, R.; Nunes Hallal Cabral, J.; Buss, G. (2007). Power Lines and Howler Monkey Conservation in Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brazil. Neotropical Primates, 14(2):76-80 (2007). Disponible en: <https://doi.org/10.1896/044.014.0206>.
- Lovich J.E, Ennen J.R. (2011) "Wildlife Conservation and Solar Energy Development in the Desert Southwest, United States" Vol. 61 No. 12 BioScience.
- Mathier, D; Méndez, J.M; Bragachini, M; Sosa, N. (S.F.) (2017) La Biomasa y la bioenergía distribuida para el agregado de valor en origen". Programa Nacional de Agregado de Valor, Agroindustria y Bioenergía- INTA.
- Mérida Rodríguez M.F. et +al (2010) "Las plantas fotovoltaicas en el paisaje. Tipificación de impactos y directrices de integración paisajística" Nimbus: Revista de climatología, meteorología y paisaje, ISSN 1139-7136, N° 25-26, 2010, págs. 129-154.
- Mielke, E., et al., Water Consumption of Energy Resource Extraction, Processing, and Conversion, Harvard Kennedy School: Belfer Center for Science and International Affairs (Oct. 2010), available at <http://belfercenter.ksg.harvard.edu/files/ETIP-DP-2010-15-final-4.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (s.f.). Estrategia Nacional de Biodiversidad y Plan de Acción 2016-2020. República Argentina. Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Ministerio de Energía y Minería. (2017). Plan de acción nacional de revisión y cambio climático: versión 1-2017. Buenos Aires: Gabinete nacional de cambio climático.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2016). República Argentina. Primera revisión de su contribución determinada a nivel nacional. Buenos Aires.
- Ministerio de Energía. Presidencia de la Nación. (2016). Balance Energético Nacional 2015. Documento metodológico. Buenos Aires: Centro de Información Energética, Subsecretaría de Escenarios y Evaluación de Proyectos.

Resolución 77/98 de Secretaría de Energía. Amplia las condiciones y requerimientos fijados en el “Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico”, Boletín Oficial, de 18 de marzo, BO núm (1998).

Resolución 15/92 de Secretaría de Energía. Aprueba el “Manual de Gestión Ambiental del Sistema de Transporte Eléctrico de Extra Alta Tensión”, Boletín Oficial, de 25 de septiembre, BO núm (1992).

Resolución 304/99 de Secretaría de Energía, 4 de junio, Condiciones y requerimientos que deberán cumplir las empresas u organismos titulares de Centrales Eólicas de Generación Eléctrica, que aspiren a convertirse en agentes del Mercado Eléctrico Mayorista, Expediente núm. 750-002083/95 del Registro del Ministerio de Economía y Obras y Servicios Públicos (1999).

Resolución ASPA 0001/2010, Ente Nacional Regulador de la Electricidad de 8 de septiembre (2010).

Resolución ENRE 0555/2001, Boletín Oficial, de 24 de octubre, BO núm. n° 29.759, (2001).

Resolución ENRE 13/12. Boletín Oficial, de 2 de febrero, BO núm 32.331 (2012).

Rodríguez, M. M., Martín, R. L., & Roselló, M. J. P. (2015). Las plantas fotovoltaicas en el paisaje. Tipificación de impactos y Directrices de integración paisajística. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3358551.pdf>

Sarasola, J; Zanon Martínez, J. (2017). Electrocutación de aves en líneas eléctricas: La muerte silenciosa de las grandes rapaces. Informe Ambiental Anual 2017 FARN, 219-230.

Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2019). Guía para la elaboración de Estudios de Impacto Ambiental. Buenos Aires: Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Presidencia de la Nación.

Secretaría de Gobierno de Energía. (2017). Marco de Gestión de Riesgo Ambiental y Social. Buenos Aires: Ministerio de Energía y Minería (MEyM). Subsecretaría de Energías Renovables.

Secretaría de Energía. Subsecretaría de Energía Eléctrica. (2008). Energías Renovables 2008 - Energía Eólica. Buenos Aires: Tecnología de la Información, Dirección General de Cooperación y Asistencia Financiera, Secretaría de Energía.

Secretaría de Energía. Presidencia de la Nación. (2008). Energía Biomasa. Ciudad de Buenos Aires: Tecnología de la Información, Dirección General de Cooperación y Asistencia Financiera. Secretaría de Energía.

Secretaría de Energía. Presidencia de la Nación. (2008). Energía geotérmica. Ciudad de Buenos Aires: Tecnología de la Información, Dirección General de Cooperación y Asistencia Financiera. Secretaría de Energía.

Secretaría de Energía. Subsecretaría de Energía Eléctrica. (2008). Energías Renovables 2008 - Energía Solar. Buenos Aires: Tecnología de la Información, Dirección General de Cooperación y Asistencia Financiera, Secretaría de Energía.

Secretaría de Energía (2018). Balance Energético Nacional, revisión 2. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/energia/hidrocarburos/balances-energeticos>

Shapiro D.,C.Robbins C., Ross P.(2015) “Solar pv operation and maintenance issues”,’Desert research institute’,pp.1-13.

Sociedad Española de Ornitología. (2011). Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0). Madrid: SEO/BirdLife.

Sociedad Española de Ornitología. (2015). Estudio comparativo de los impactos Ambientales producidos por los Aerogeneradores con palas vs. Aerogeneradores Vortex Bladeless. Madrid: SEO/BirdLife.

Southern Environmental Law Center’s Solar Initiative, 2017, “The environmental review of solar farms in the Southeast U.S. Maximizing Benefits & Minimizing Impacts to Drive Smart, Sustainable Development of Solar Power”

Union of Concerned Scientists (2017) How it Works: Water for Coal, http://www.ucsusa.org/clean_energy/our-energy-choices/energy-and-water-use/water-energy-electricity-coal.html#.Vbp2LPIVhBc.

United Nations Development Programme (UNDP). Western Balkan Environmental Programme. Ministry of Environment and Spatial Planning of the Republic of Serbia. (2011). Guidelines on the Environmental Impact Assessment for wind farms. Belgrade, Serbia: UNDP, Department for Environmental Impact Assessment. Ministry of Environment and Spatial Planning.

U.S. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response’s Center for Program Analysis “Handbook on Siting Renewable Energy Projects While Addressing Environmental Issues” s/f



Secretaría de Ambiente
y Desarrollo Sustentable
Presidencia de la Nación