

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**ESTIMACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FASE DE
CONSTRUCCIÓN DEL PARQUE EÓLICO ‘SIERRA GORDA ESTE’, COMUNA DE
SIERRA GORDA, REGION DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

NATALIA ALEJANDRA VIDAL CORTEZ

Santiago, Chile

2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**ESTIMACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FASE DE
CONSTRUCCIÓN DEL PARQUE EÓLICO ‘SIERRA GORDA ESTE’, COMUNA DE
SIERRA GORDA, REGION DE ANTOFAGASTA, CHILE.**

**ESTIMATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF THE CONSTRUCTION
PHASE OF ‘SIERRA GORDA ESTE’ WIND FARM, SIERRA GORDA COUNTY,
ANTOFAGASTA, CHILE.**

NATALIA ALEJANDRA VIDAL CORTEZ

Santiago, Chile

2017

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

ESTIMACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FASE DE
CONSTRUCCIÓN DEL PARQUE EÓLICO ‘SIERRA GORDA ESTE’, COMUNA DE
SIERRA GORDA, REGION DE ANTOFAGASTA, CHILE.

Memoria para optar al título profesional de
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

NATALIA ALEJANDRA VIDAL CORTEZ

Profesor Guía	Calificaciones
Sr. Alejandro Leon S. Ingeniero Agrónomo, Ph. D.	7,0
Profesores Evaluadores	
Sr. Manuel Paneque C. Bioquímico, Dr.	6,0
Sr. Gerardo Soto M. Ingeniero Forestal, M.S. Dr.	7,0
Colaborador	
Sr. Felipe Célery C. Ingeniero Civil en Matemática	

Santiago, Chile

2017

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la empresa Enel Green Power Chile y Países Andinos, y al equipo que formó parte del desafío MIMA (Modelo Integrado de Mediciones Ambientales), particularmente a Rodrigo Garrido, por darme la oportunidad de realizar este proyecto.

A las empresas U-Learn y Visualmente, especialmente a Cristóbal Molina y Matias Álvarez, por brindarme las herramientas y los espacios para el desarrollo de este trabajo.

A mi profesor guía, Alejandro León, por aterrizar mis ideas en los momentos de mayor confusión y encausar mi trabajo en este documento. También a mi profesor colaborador, Felipe Célery, por el conocimiento traspasado y por confiar en mis habilidades para llevar a cabo este desafío.

A mi familia, por su amor y apoyo incondicional. También a mis amigos, por estar siempre cuando los necesité y sus palabras de ánimo en los momentos de cansancio. Gracias a todos por los consejos, risas y abrazos que hicieron de esta etapa algo llevadero.

Finalmente, pero no menos importante, agradezco a los que partieron. Espero ser un orgullo para ellos.

ÍNDICE

Resumen.....	1
Introducción	2
Objetivo.....	3
Materiales y Métodos.....	4
Área de estudio.....	4
Metodología	5
Definición de Objetivos y Alcance	5
Inventario de Ciclo de Vida (ICV).....	8
Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV).....	9
Interpretación	11
Resultados	13
Definición de Objetivos y Alcance	13
Objetivos del ACV	13
Alcance.....	13
Inventario de Ciclo de Vida (ICV).....	23
Entradas y Salidas	23
Fuentes de información y supuestos asociados.....	24
Totales de Inventario.....	29
Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida.....	35
Factores de Caracterización	36
Estimación de Impactos Ambientales	36
Interpretación	46
Resultados ponderados.....	46
Análisis de puntos críticos	47
Discusión.....	60
Alcance.....	60
Categorías de impacto.....	61
Ponderación y evaluación	62

Unidad Funcional y comparación de resultados	64
Conclusiones	66
Bibliografía	68
Material complementario	73
Apéndices.....	73
Apéndice 1: Factores de ponderación a unidades equivalentes para las categorías de impacto evaluadas	73
Apéndice 2: Factores de Ponderación de Impactos Ambientales	75
Apéndice 3: Sistemas de registros para ACV y procedimiento de cuantificación de entradas y salidas	76
Apéndice 4: Procedimientos de cálculo de entradas y salidas a partir de información secundaria.....	82
Apéndice 5: Factores de caracterización para entradas y salidas por Proceso Unitario.	87
Apéndice 6: Detalle de los principales impactos por actividades para cada categoría de impacto y sistema estudiado	91

GLOSARIO DE SIGLAS

ACV:	Análisis de Ciclo de Vida
DIA:	Declaración de Impacto Ambiental
EGP:	Enel Green Power
EICV:	Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida
ERNCC:	Energías Renovables No Convencionales
GEI:	Gases de Efecto Invernadero
ICV:	Inventario de Ciclo de Vida
LTE:	Línea de Transmisión Eléctrica
PCG:	Potencial de Calentamiento Global
PDO:	Potencial de Deterioro de Ozono
PE:	Parque Eólico
PFMP:	Potencial de Formación de Material Particulado
PCR:	Product Category Rule (Regla de Categoría de Producto)
SAO:	Sustancias Agotadoras de Ozono
SE:	Subestación Eléctrica
SIC:	Sistema Interconectado Central
SING:	Sistema Interconectado del Norte Grande
TEP:	Toneladas Equivalentes de Petróleo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Área de Estudio, Parque Eólico Sierra Gorda Este.	5
Figura 2. Límites del Sistema y Procesos Unitarios considerados en el Alcance del estudio.	18
Figura 3. Contribución porcentual de Procesos Unitarios a cada categoría de impacto evaluada - Infraestructura de generación eléctrica.....	37
Figura 4. Contribución porcentual de Procesos Unitarios a cada categoría de impacto evaluada - Infraestructura de transmisión eléctrica.....	38
Figura 5. Emisiones totales de gases de efecto invernadero por Proceso Unitario y Unidad Funcional.....	39
Figura 6. Distribución porcentual de emisiones de gases de efecto invernadero por Proceso Unitario y Unidad Funcional.....	40
Figura 7. Consumo de agua por Proceso Unitario y Unidad Funcional.	40
Figura 8. Distribución porcentual de consumo de agua por Proceso Unitario y Unidad Funcional.....	41
Figura 9. Consumo de combustibles fósiles por Proceso Unitario y Unidad Funcional.	42
Figura 10. Distribución porcentual de consumo de combustibles fósiles por Proceso Unitario y Unidad Funcional.....	43
Figura 11. Emisiones totales de material particulado por Proceso Unitario y Unidad Funcional.....	43
Figura 12. Distribución porcentual de emisiones de material particulado por Proceso Unitario y Unidad Funcional.....	44
Figura 13. Emisiones totales de sustancias destructoras de la capa de ozono por Proceso Unitario y Unidad Funcional.....	45
Figura 14. Distribución porcentual de emisiones de sustancias destructoras de la capa de ozono por Proceso Unitario y Unidad Funcional.....	46
Figura 15. Impactos ambientales ponderados para cada sistema de estudio.	47
Figura 16. Análisis de puntos críticos de la categoría Cambio Climático - Infraestructura de generación.....	48
Figura 17. Análisis de puntos críticos de la categoría Consumo de Agua - Infraestructura de generación.....	48
Figura 18. Análisis de puntos críticos de la categoría Consumo de Combustibles Fósiles - Infraestructura de generación.....	49
Figura 19. Análisis de puntos críticos de la categoría Formación de Material Particulado - Infraestructura de generación.....	50
Figura 20. Análisis de puntos críticos de la categoría Daño a la Capa de Ozono - Infraestructura de generación.....	50
Figura 21. Análisis de puntos críticos de la categoría Cambio Climático - Infraestructura de transmisión.....	52

Figura 22. Análisis de puntos críticos de la categoría Consumo de Agua - Infraestructura de transmisión.....	52
Figura 23. Análisis de puntos críticos de la categoría Consumo de Combustibles Fósiles - Infraestructura de transmisión.....	53
Figura 24. Análisis de puntos críticos de la categoría Formación de Material Particulado - Infraestructura de transmisión.....	54
Figura 25. Análisis de puntos críticos de Infraestructura de transmisión – Deterioro de la Capa de ozono.	54
Figura 26. Proporción de impactos de gestión <i>ex ante</i> y <i>ex dure</i> – Infraestructura de generación eléctrica.	56
Figura 27. Proporción de impactos de gestión <i>ex ante</i> y <i>ex dure</i> – Infraestructura de transmisión eléctrica.....	57
Figura 28. Impactos ambientales ponderados bajo cinco métodos internacionales de ponderación – Infraestructura de generación.	63
Figura 29. Impactos ambientales ponderados bajo cinco métodos internacionales de ponderación – Infraestructura de transmisión.....	63
Figura 30. Comparación porcentual de Producción y Ensamblaje de Parques Eólicos para la categoría de impacto Cambio Climático.	64
Figura 31. Comparación porcentual de Producción y Ensamblaje de Parques Eólicos para la categoría de impacto Consumo de Agua.....	65
Figura 32. Comparación porcentual de Producción y Ensamblaje de Parques Eólicos para la categoría de impacto Consumo de Agua.....	65

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Categorías de Impacto Ambiental seleccionadas para el Análisis de Ciclo de Vida.	7
Cuadro 2. Unidades de medida utilizadas en Análisis de Ciclo de Vida.	9
Cuadro 3. Obras temporales del Parque Eólico Sierra Gorda Este y su Línea de Transmisión Eléctrica.	14
Cuadro 4. Obras permanentes del Parque Eólico Sierra Gorda Este y su Línea de Transmisión Eléctrica.	14
Cuadro 5. Actividades de construcción incluidas en cada Proceso Unitario.	17
Cuadro 6. Componentes de la Categoría de Impacto Cambio Climático	19
Cuadro 7. Componentes de la Categoría de Impacto Consumo de Agua	20
Cuadro 8. Componentes de la Categoría de Impacto Consumo de Combustibles Fósiles	20
Cuadro 9. Componentes de la Categoría de Impacto Formación de Material Particulado	21
Cuadro 10. Componentes de la Categoría de Impacto Deterioro de la Capa de Ozono	22
Cuadro 11. Entradas y salidas incluidas en cada Proceso Unitario.	23
Cuadro 12. Información primaria para inventario de entradas y salidas incluidas en cada Proceso Unitario.	25
Cuadro 13. Fuentes bibliográficas utilizadas para estimación de entradas y salidas. Incluidas en cada Proceso Unitario.	26
Cuadro 14. Unidades de medida utilizadas para el registro de las entradas de cada Proceso Unitario.	27
Cuadro 15. Unidades de medida utilizadas para el registro de las salidas de cada Proceso Unitario.	28
Cuadro 16. Entradas totales del proceso ‘Transporte’ por unidad funcional.	29
Cuadro 17. Principales emisiones atmosféricas del proceso ‘Transporte’, por unidad funcional.	30
Cuadro 18. Entradas totales del proceso ‘Movimiento de Tierra’, por unidad funcional.	30
Cuadro 19. Principales emisiones atmosféricas del proceso ‘Movimiento de Tierra’, por unidad funcional.	31
Cuadro 20. Entradas totales del proceso ‘Cimentación y Fundación’, por unidad funcional.	31
Cuadro 21. Salidas y principales emisiones atmosféricas del proceso ‘Cimentación y Fundación’, por unidad funcional.	32
Cuadro 22. Entradas totales del proceso ‘Montaje’, por unidad funcional.	32
Cuadro 23. Salidas y emisiones atmosféricas principales del proceso ‘Montaje’, por unidad funcional.	33
Cuadro 24. Totales de inventario del proceso ‘Mantenimiento de Faena’, por unidad funcional.	33

Cuadro 25. Entradas totales del proceso ‘Uso de Instalaciones de Faena’, por unidad funcional.....	34
Cuadro 26. Salidas y emisiones atmosféricas principales del proceso ‘Uso de Instalaciones de Faena’, por unidad funcional.....	34
Cuadro 27. Entradas totales del proceso ‘Gestión de Residuos’, por unidad funcional.	35
Cuadro 28. Salidas totales del proceso ‘Gestión de Residuos’, por unidad funcional.....	35
Cuadro 29. Impactos totales correspondientes a la Infraestructura de generación eléctrica	36
Cuadro 30. Impactos totales correspondientes a la Infraestructura de transmisión eléctrica	37
Cuadro 31. Emisiones totales de gases de efecto invernadero por Proceso Unitario y Unidad Funcional.....	39
Cuadro 32. Consumo de agua por Proceso Unitario y Unidad Funcional.	41
Cuadro 33. Consumo de combustibles fósiles por proceso unitario.	42
Cuadro 34. Emisiones totales de material marticultado por Proceso Unitario y Unidad Funcional.....	44
Cuadro 35. Emisiones totales de gases destructores de la capa de ozono por Proceso Unitario y Unidad Funcional.....	45
Cuadro 36. Análisis de dominancia para Infraestructura de generación eléctrica.	51
Cuadro 37. Análisis de dominancia de Infraestructura de transmisión eléctrica.	55
Cuadro 38. Flujos del sistema de Gestión <i>Ex ante</i>	55
Cuadro 39. Síntesis de puntos críticos de los sistemas de estudio.....	57
Cuadro 40. Comparación entre Procesos Unitarios de los sistemas de estudio, obras de construcción del proyecto y requerimientos de PCR.....	60
Cuadro 41. Resumen de categorías de impacto ambiental utilizadas en Análisis de Ciclo de Vida de proyectos eólicos.	61
Cuadro 42. Factores de ponderación de categorías de impacto de cinco métodos internacionales, adaptados a las categorías del estudio.....	62

RESUMEN

Durante la construcción de parques eólicos se generan impactos negativos asociados al consumo de recursos y emisiones atmosféricas. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta que permite estimar estos impactos ambientales, desde la extracción de sus materias primas hasta la disposición final tras el fin de la vida útil.

Esta investigación es la aplicación del ACV en un proyecto eólico desarrollado por Enel Green Power, empresa que ha encargado el presente estudio. El “Parque Eólico Sierra Gorda Este” contempla la construcción y operación de una planta eólica compuesta por 56 aerogeneradores, además de una Línea de Transmisión Eléctrica (LTE) de 39 km.

Se han definido dos ACV complementarios, uno asociado a la infraestructura de generación y otro a la infraestructura de transmisión. Los límites de estos sistemas abarcan todas las actividades de construcción, incluyendo todos los insumos y residuos, su gestión y transporte. Estas actividades se agrupan en los siguientes procesos unitarios: ‘Transporte’, ‘Movimiento de Tierra’, ‘Cimentación y Fundación’, ‘Montaje’, ‘Mantenimiento de Faena’, ‘Uso de Instalaciones de Faena’ y ‘Gestión de Residuos’. Las categorías de impacto evaluadas en este estudio corresponden a Cambio Climático (kg CO_{2eq}), Consumo de Agua (m³ agua), Consumo de Combustibles Fósiles (kg petróleo_{eq}), Formación de Material Particulado (kg MP10_{eq}), y Deterioro de Capa de Ozono (kg CFC-11_{eq}).

Tras inventariar los flujos de entradas y salidas para cada sistema, los impactos del proyecto se traducen en 1.613,9 kg CO_{2eq}, 17.817,6 m³ agua, 337.407,4 kg petróleo_{eq}, 2.691,1 kg MP10_{eq} y 1,3 kg CFC-11_{eq}, por cada MW de potencia instalada; y 123.507,4 kg CO_{2eq}, 11.551,6 m³ agua, 30.856,8 kg petróleo_{eq}, 232,4 kg MP10_{eq} y 24,8 kg CFC-11_{eq}, por cada km de línea construida. Al ponderar los resultados en ambos sistemas se obtiene que las categorías de impacto más significativas son Cambio Climático, Consumo de Combustibles Fósiles y Consumo de Agua. Los procesos unitarios responsables de estos impactos son ‘Montaje’, ‘Cimentación y Fundación’ y ‘Transporte’. Las alternativas de gestión sugeridas para minimizar estos impactos ambientales incluyen la utilización de materiales reciclados, la optimización del sistema de transporte y la sustitución de abastecimiento energético por alternativas limpias.

Las principales limitaciones del método identificadas tienen relación con la definición de las unidades funcionales, ya que impidió la comparación de resultados con otros estudios de ACV de generación eólica. Otra restricción del método es la calidad de los datos utilizados. Pese a estas limitantes, fue posible estimar en forma cuantitativa los impactos ambientales derivados de la construcción de este proyecto de generación eólica, obteniendo indicadores que podrán ser comparados con futuros proyectos de la compañía y dando cumplimiento a los objetivos del ACV.

INTRODUCCIÓN

La meta declarada por el Estado de Chile para el desarrollo de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) es que el 20% de la generación energética al 2025 deberá originarse a partir de fuentes renovables, y además estas deben representar el 45% de la nueva capacidad instalada (IRENA, 2015). Esto ha traído consigo un aumento considerable de la inversión en energías renovables, convirtiendo a Chile en el décimo país con mayor inversión en ERNC durante el 2015 a nivel mundial, con un crecimiento del 141% respecto al 2014 (UNEP, 2016). En cuanto a las fuentes, la energía eólica es la que aporta la mayor cantidad de energía renovable a los dos sistemas de interconexión más importantes del país, ya que representa el 5,2% del total de la potencia instalada en el Sistema Interconectado Central (SIC) y un 39,9% de las ERNC; mientras que en el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) totaliza el 61,8% de las ERNC, que representa el 2,2% del total de su potencia instalada (Capacidad Instalada Generación, 2016).

En términos de los impactos ambientales de la generación energética, las ERNC y en particular los proyectos eólicos, han demostrado ser altamente eficientes porque muestran una tasa de emisión de gases de efecto invernadero casi despreciables si se les compara con las tecnologías tradicionales (Lago *et al.*, 2009; Rahman *et al.*, 2011). Sin embargo, la energía eólica genera impactos ambientales negativos asociados al ruido, el paisaje y sobre la avifauna, ya que tienen riesgo de chocar con estas estructuras en altura (Zaldúa, 2012).

Un método que permite determinar en forma detallada los impactos totales asociados a un proceso productivo y que puede ser empleado en múltiples industrias es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (Sefic, 2009). La utilización del ACV para evaluar los impactos ambientales de proyectos eólicos ha sido desarrollado a nivel mundial, tanto en proyectos ubicados en tierra como en el mar (Arvesen y Hertwich, 2012). Estos estudios han permitido mostrar que los principales impactos negativos de la energía eólica están asociados a las fases de construcción y disposición final (Arvesen y Hertwich, 2012; Haapala y Prempreeda, 2014).

El ACV es una herramienta desarrollada para identificar y estimar los impactos ambientales asociados a diversos productos (INN, 2012 a) e incluye la evaluación de los aspectos ambientales de un sistema productivo en todas las etapas de su ciclo de vida o, coloquialmente, “de la cuna a la tumba”. Es decir, el análisis incluye los efectos de un producto desde la extracción de las materias primas necesarias para su fabricación hasta la disposición final tras el fin de su vida útil (Astrup *et al.*, 1997). El marco metodológico desarrollado por la Organización Internacional de Normalización y la familia de normas ISO 14.040 es el más utilizado para la implementación del ACV, ya que ofrece indicaciones técnicas rigurosas y se encuentra aceptado por la comunidad internacional (UNEP, 2011).

Para implementar un ACV es necesario examinar las fases principales del ciclo de vida de un producto, que incluye la adquisición de materias primas, su procesamiento y transporte. Luego considera los procesos de manufactura, la vida útil del producto y el manejo de residuos y su disposición final (Sefic, 2009). El procedimiento general incluye la definición del alcance del sistema a estudiar, todas las entradas y salidas de materia, residuos, emisiones y energía, así como la asignación de impactos ambientales para estos flujos a partir de las cantidades registradas para el producto estudiado. El proceso finaliza en un reporte que indique los resultados más significativos del análisis (INN, 2012 a).

Un ejemplo del escenario energético anteriormente descrito es la construcción del Parque Eólico Sierra Gorda Este, proyecto impulsado por la empresa Enel Green Power, ubicado en la comuna de Sierra Gorda (EGP, 2015 a). Esta zona se caracteriza por la escasez hídrica propia de las zonas desérticas del norte de Chile, además de ser un sitio declarado saturado por material particulado (Geobiota, 2013). En este contexto, Enel Green Power ha solicitado el presente estudio como una oportunidad para estimar los impactos ambientales durante la construcción de uno de sus proyectos, bajo el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida.

Objetivo

Estimar el impacto ambiental asociado a la construcción del Parque Eólico Sierra Gorda Este y su Línea de Transmisión Eléctrica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Enel Green Power (en adelante EGP) es una filial de la compañía italiana Enel, creada en 2008, la cual opera plantas en varios países con distintas tecnologías y fuentes tales como hídrica, eólica, geotérmica y solar, totalizando más de 9,8 GW de capacidad neta (EGP, 2015 a). En Chile está representada por Enel Green Power Chile y Países Andinos, y opera con una capacidad instalada de 600 MW en proyectos a lo largo de todo el país. A la fecha de redacción de este informe poseía proyectos en fase de construcción, entre los que se encontraba el Parque Eólico Sierra Gorda Este (EGP, 2015 a).

El propósito de este proyecto de inversión, localizado en la comuna de Sierra Gorda, provincia y región de Antofagasta (Figura 1), es la construcción y operación de una planta eólica de 112 MW de potencia instalada, compuesta por 56 aerogeneradores, una subestación elevadora y otras obras complementarias. El proyecto además incluye una Línea de Transmisión Eléctrica (LTE) de 39 km de longitud para entregar la energía al SING a través de la Subestación Eléctrica Sierra Gorda (Geobiota, 2013).

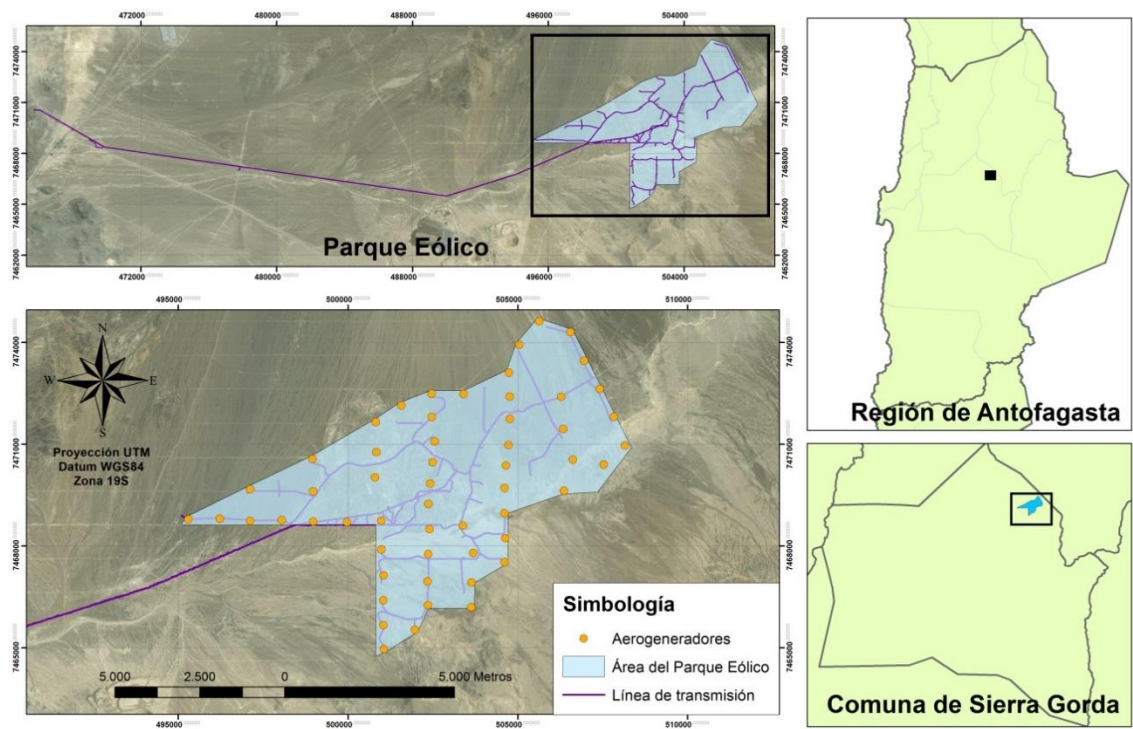


Figura 1: Área de Estudio, Parque Eólico Sierra Gorda Este.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Geobiota (2013)

Metodología

La metodología descrita a continuación se ha creado a partir de los requerimientos de la normativa ISO 14.040/14.044 (INN, 2012 a; INN, 2012 b). Adicionalmente, se han utilizado como referencia otros estudios de ACV desarrollados en la Universidad de Chile (Seiffert, 2014; Piña, 2016).

Definición de Objetivos y Alcance

Objetivos. La definición de los objetivos debe incluir las razones para realizar el estudio, el público objetivo y la aplicación de los resultados (INN, 2012 a). Para determinarlos se llevó a cabo una reunión inicial en la que se revisaron los compromisos de sostenibilidad adquiridos por EGP y se consultó al equipo de proyecto de la empresa respecto a la información disponible y las categorías de impacto que deben incorporarse en el ACV.

Alcance. El alcance debe describir las características y límites del sistema estudiado y los procesos productivos seleccionados, su unidad funcional y las restricciones o limitaciones asociadas al estudio (INN, 2012 a).

Límites del sistema de estudio: los límites del sistema se han definido a partir de la revisión de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA) del proyecto (Geobiota, 2013), seleccionando las principales actividades de construcción. Estas actividades se han agrupado en procesos unitarios (elementos más pequeños considerados en el ACV y para los cuales se cuantifican los datos de entrada y salida dentro del sistema estudiado) (INN, 2012 a) en base a las obras principales del proyecto. Estos procesos se han descrito de acuerdo a su inicio, su término, las actividades que incluye y las principales transformaciones que ocurren en ellos (INN, 2012 b).

Unidad Funcional: este valor corresponde a la unidad de referencia para cuantificar los impactos ambientales. Tomando en cuenta que la construcción de este proyecto incluye su línea de transmisión eléctrica y que dependiendo de su longitud, la cuantificación de los impactos ambientales puede variar significativamente (Kim y Holme, 2015), el ACV se divide en dos unidades funcionales para permitir que los resultados obtenidos sean comparables con futuros proyectos de distintas tecnologías.

El primer sistema (generación eléctrica) tiene como unidad funcional **1 MW de potencia instalada**, entendida como la capacidad máxima de generación eléctrica, dentro del cual se incluyen las actividades de construcción, el montaje de los aerogeneradores, la subestación elevadora y otras obras complementarias. El segundo subsistema (transmisión eléctrica) tiene como unidad funcional **1Km de LTE construida** para la transmisión de energía al SING, dentro del cual se incluyen la construcción de la LTE y sus obras complementarias, además de las modificaciones requeridas por la subestación de interconexión para inyectar la energía al sistema eléctrico.

Categorías de Impacto Ambiental: las categorías de impacto ambiental que se han incluido en este Análisis de Ciclo de Vida fueron definidas en conjunto con EGP, de acuerdo a las características de la zona de emplazamiento y los aspectos ambientales cuya gestión es relevante para los intereses de la compañía (Cuadro 1). La metodología de evaluación (unidades de medida y algoritmos de cálculo) para estimar estos valores se ha realizado a partir de *ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level* (Goedkoop et al., 2013).

Cuadro 1. Categorías de Impacto Ambiental seleccionadas para el Análisis de Ciclo de Vida.

Categoría de Impacto	Unidad	Justificación de su elección
Cambio Climático	kg CO ₂ – eq	Las actividades de construcción pueden generar emisiones de Gases de Efecto Invernadero, las que pueden ser estimadas a partir de las horas de funcionamiento de maquinarias y vehículos. Este indicador es clave debido al compromiso de EGP de ser una empresa carbono neutral.
Consumo de Agua	m ³	El proyecto contempla la utilización de agua en su fase de construcción, la que puede ser cuantificada a través de los registros de consumo de este insumo. Cabe destacar que este recurso es crítico en el norte del país, lugar de emplazamiento del proyecto. Por otro lado, evaluar la eficiencia en el uso del recurso hídrico puede traducirse en beneficios económicos para la compañía.
Consumo de Combustibles Fósiles	kg petróleo - eq	El proyecto contempla la utilización de combustibles fósiles en su fase de construcción para abastecer vehículos, maquinarias y para abastecer de electricidad a las instalaciones de faena. Un indicador que evalúe el consumo de este recurso puede favorecer la reducción de emisiones de CO ₂ y generar beneficios económicos para EGP.
Formación de Material Particulado	kg PM ₁₀ – eq	Las actividades de construcción pueden generar emisiones de material particulado (PM10), que pueden ser estimadas a partir de la maquinaria utilizada durante la construcción. En este caso, la comuna de Sierra Gorda posee declaratoria de zona saturada por PM10, por lo que no es posible incrementar la concentración de este material.
Deterioro de la Capa de Ozono	kg CFC-11 eq	Las emisiones generadas por los equipos utilizados durante la construcción del proyecto incluyen gases que favorecen el daño a la capa de ozono, las que son estimadas a partir de las horas de funcionamiento de maquinarias y vehículos. Este indicador es importante para la compañía por los esfuerzos globales asociados a la reducción del impacto sobre la capa de ozono.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Goedkoop *et al.* (2013) y Geobiota (2013).

Criterios de corte y limitaciones: De acuerdo al contexto en que se realizó el estudio (en forma paralela a las faenas constructivas), se han definido elementos que quedan fuera de este Análisis de Ciclo de Vida, debido a la falta de registros de EGP y la dificultad de acceder

a información fidedigna o porque la empresa ha definido que no son pertinentes para este estudio.

Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

El inventario corresponde a la fase del ACV en que se han recopilado datos correspondientes a las entradas y salidas de los procesos del sistema durante la fase de construcción, además de la definición de los cálculos para su cuantificación (INN, 2012 b).

Entradas y Salidas. Se han definido todas las entradas y salidas para cada proceso unitario descrito en el alcance, mediante la revisión de las especificaciones técnicas de las obras de construcción y las estimaciones consideradas en la DIA del proyecto, identificando los materiales, equipos y energía requeridos, así como las emisiones, residuos y vertidos generados.

Fuentes de información y supuestos asociados.

Fuentes primarias: se realizó una revisión del sistema de registros ambientales y constructivos de EGP utilizados durante la fase de construcción del proyecto, con el fin de seleccionar los datos necesarios para el inventario (entradas y salidas previamente definidas), detectar falencias o ausencia de registros y solicitar las correcciones pertinentes al equipo del proyecto.

Para la cuantificación de estos elementos se elaboró un formulario donde se registraron cada una de estas entradas y salidas, se asignaron a uno o más procesos unitarios del sistema y finalmente se sumaron los totales correspondientes a cada proceso.

Fuentes secundarias: Cuando los registros de EGP no permitieron satisfacer los requerimientos de información de entradas y salidas de los procesos unitarios, se revisaron las estimaciones de emisiones y generación de residuos contenidas en la DIA del proyecto.

Respecto de las emisiones atmosféricas de las actividades incluidas en los procesos unitarios, estas se estimaron a partir de la Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Fuentes Fijas y Móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes

(CONAMA, 2009) y la Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la Región Metropolitana (SEREMI MMA RM, 2012).

Supuestos: Tras la revisión de las fuentes de datos, se han establecido los supuestos bajo los cuales se realizan los inventarios de entradas y salidas de cada proceso unitario. Esto se traduce en la definición de criterios de corte para estos flujos, dentro de los límites del sistema.

Ajuste de datos: Para asegurar la uniformidad de los datos registrados se han definido las unidades de medida de acuerdo a las características de las entradas o salidas (Cuadro 2). Estas unidades son las recomendadas por ReCiPe 2008 (Goedkoop *et al.*, 2013) para realizar la estimación de impacto de acuerdo a las categorías definidas para este análisis.

Cuadro 2. Unidades de medida utilizadas en Análisis de Ciclo de Vida.

Tipo de registro	Unidad Requerida
Distancia	Kilómetros
Funcionamiento máquinas	Horas Máquina
Materiales/residuos sólidos	Toneladas
Materiales/residuos líquidos	Metros cúbicos
Emisiones (gases)	Kilogramos
Equipos terminados (aerogeneradores, torres de alta tensión)	Unidad

Fuente: Elaboración propia, a partir de Goedkoop *et al.* (2013)

Totales de Inventario. De acuerdo a los registros totales de todas las entradas y salidas del sistema, se contabilizaron los totales de cada proceso unitario. En este cálculo, se identifican los flujos intermedios (salidas de un proceso unitario que ingresan posteriormente a otro proceso), para asegurar el balance de masa requerido por la norma (INN, 2012 b).

Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (EICV)

Fase en la que el inventario desarrollado en la etapa anterior es traspasado a los indicadores de impacto potencial al medio ambiente o la disponibilidad de recursos naturales (JRC, 2010), que corresponden a las categorías de impacto descritas en el alcance del ACV.

Factores de Caracterización. Estos corresponden a los factores matemáticos que permiten transformar los totales de inventario en la cuantificación de impactos ambientales para cada categoría analizada (INN, 2012 b). La base de datos *European Reference Life Cycle Data System* (ELCD 3.0) contiene los factores de caracterización para distintos materiales y actividades de construcción. Los valores utilizados de la ELCD son obtenidos a partir de los algoritmos y procedimientos presentados en ReCiPe 2008 para la estimación de impactos ambientales de las distintas categorías de impacto (Goedkoop *et al.*, 2013).

Adicionalmente, se han construido los factores de caracterización de las entradas o salidas que no pudieron ser asignadas a un dato de ELCD. Este proceso se realizó a partir de las estimaciones de emisiones definidas en la fase de Inventario de Ciclo de Vida (ICV) y siguiendo los modelos de matemáticos utilizados por ReCiPe 2008 (Ecuación 1).

Ecuación 1. Construcción de Factores de Caracterización.

$$FC_{i,j} = \sum_{i=1}^n fe_j * fc_{i,j}$$

Fuente: Goedkoop *et al.* (2013).

Donde:

$FC_{i,j}$: Factor de caracterización para la categoría de impacto j, del flujo (entrada o salida) i.

fe_j : Factor de emisión del flujo (entrada o salida) i.

fc_j : Factor de conversión a unidad equivalente de la categoría de impacto j del flujo (entrada o salida) i.

Los factores de conversión de los gases y consumos considerados para la construcción de los factores de caracterización bajo la metodología de ReCiPe (2008), se indican en el Apéndice 1.

Estimación de Impactos ambientales. Una vez obtenidos todos los factores de caracterización, se procedió a evaluar los impactos de cada proceso del sistema estudiado mediante la multiplicación de los niveles de impacto por las cantidades totales de entradas y salidas (JCR, 2010) (Ecuación 2).

Ecuación 2. Procedimiento de cuantificación de impacto ambiental por Proceso Unitario

$$IA_{i,j} = \sum_{i=1}^5 FC_{i,DI} * DI_j$$

Fuente: Goedkoop *et al.* (2013).

Donde:

$IA_{i,j}$: Cuantificación del Impacto Ambiental para la categoría de impacto i, del proceso j.

$FC_{i,DI}$: Factor de caracterización de la categoría de impacto i, para el dato de inventario DI.

DI_j : Total del flujo (entrada o salida) del proceso j.

Una vez que se estimaron los impactos ambientales de cada categoría para todos los procesos unitarios de cada sistema, estos fueron sumados para obtener los impactos totales por sistema estudiado.

Interpretación

Fase del ACV en la que los resultados del ICV y el EICV son interpretados de acuerdo al objetivo y alcance definidos para el estudio. En este sentido, se analizaron los resultados para identificar los principales impactos ambientales y las actividades responsables de ellos (análisis de puntos críticos), los cuales pueden estar relacionados con una o más categorías de impacto (INN, 2012 b). El método de análisis de resultados se describe a continuación.

Resultados ponderados. La ponderación es un procedimiento que permite comparar el impacto de cada categoría a partir de valores adimensionados (Piña, 2016). Esta ponderación, construida a partir de la significancia social de los impactos ambientales, entrega información complementaria para analizar los resultados obtenidos (Seiffert, 2014). El procedimiento de ponderación consiste en multiplicar los resultados obtenidos de cada categoría por un factor que permite estimar la proporción de los impactos totales. Los valores utilizados para este cálculo provienen Fundación Chile (IDIEM, 2012) y se detallan en el Apéndice 2.

Análisis de Puntos Críticos. Para cada categoría evaluada se identificaron los procesos unitarios críticos, seleccionando los procesos necesarios para cubrir el 95% del impacto. Una vez determinados, se identificaron los flujos (entradas y salidas) críticos de estos procesos seleccionados (Montalbo *et al.*, 2011).

Clasificación de Flujos del Sistema y Alternativas de Gestión Ambiental. Los flujos del sistema se han clasificado de acuerdo a la etapa del proyecto en que pueden ser gestionados. A partir de eso se han propuesto alternativas de gestión previas al proceso constructivo y durante las faenas de construcción. Estas propuestas fueron definidas a partir de una revisión bibliográfica de medidas de gestión para actividades de construcción y estudios de ACV de generación eléctrica.

RESULTADOS

Definición de Objetivos y Alcance

Objetivos del ACV

El objetivo del ACV propuesto es evaluar el impacto ambiental asociado a la construcción del Parque Eólico Sierra Gorda y su Línea de Transmisión Eléctrica.

Objetivos específicos

- Cuantificar los impactos ambientales de la construcción de un proyecto de energía eólica de EGP.
- Detectar qué actividades de construcción del proyecto generan los mayores impactos ambientales, identificando oportunidades de mejora.
- Identificar falencias en los procedimientos del sistema de gestión ambiental de la empresa, apuntando a la mejora continua.
- Generar la información necesaria para la certificación de la norma ISO 14.040.

Alcance

Límites del sistema de estudio. El sistema estudiado se limita a las actividades que se desarrollan al interior del sitio de construcción, incluyendo el ingreso de materias primas y equipos y la salida de los residuos generados.

Las actividades de construcción constan de la instalación de obras temporales (apoyo a la fase de construcción) y permanentes (infraestructura utilizada durante la fase de operación del proyecto). El detalle de estas obras se describe en los cuadros 3 y 4:

Cuadro 3. Obras temporales del Parque Eólico Sierra Gorda Este y su Línea de Transmisión Eléctrica.

Instalación	Descripción
Instalaciones de faena	Infraestructura que incluye porterías de acceso, oficinas administrativas, baños químicos, equipamiento de primeros auxilios, bodega de residuos, patio de herramientas y materiales.
Frentes de trabajo	Cuentan con baños químicos y otros insumos básicos como extintor, botiquín, elementos de protección personal y herramientas menores. Se trasladan de acuerdo al avance de las obras de construcción.
Área de acopio temporal	Plataforma de 2 ha, ubicada en el área del Parque, utilizada para el acopio temporal de aerogeneradores.
Planta de hormigón	Con una superficie de 2 ha y una capacidad de producción estimada de $70 \text{ m}^3 \cdot \text{hora}^{-1}$, fue instalada para satisfacer los requerimientos de hormigón. Su abastecimiento eléctrico incluyó la instalación de dos grupos electrógenos diésel, con su respectivo equipo de respaldo.
Área de disposición de excedentes de excavación	Superficie de 1,8 ha aproximadamente, donde se depositaron los escombros generados a partir del material excavado que no fueron reutilizados para la elaboración de hormigón o como material de relleno.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Geobiota (2013).

Cuadro 4. Obras permanentes del Parque Eólico Sierra Gorda Este y su Línea de Transmisión Eléctrica.

Instalación	Descripción
Aerogeneradores	56 turbinas de 2 MW de potencia unitaria, que constituyen una potencia instalada de 112 MW. Los aerogeneradores tienen una altura de 90 m y tres aspas de 60 m cada una.
Fundaciones de los aerogeneradores	Estructuras de 22 metros de diámetro, con una profundidad de 3 metros que soportan las torres. Cada cimiento se compone de aproximadamente 550 m^3 de hormigón y 53 t de acero.
Caminos internos	Con una extensión aproximada de 56 km, permiten el desplazamiento entre los aerogeneradores. Se utilizaron para el transporte de los componentes del parque durante la construcción y se utilizarán para el mantenimiento durante la operación del parque.
Plataformas de montaje	Durante la fase de construcción se utilizaron para el acopio y montaje de los aerogeneradores, mientras que durante la operación pueden ser utilizadas para obras de mantenimiento. Cada plataforma tiene una superficie aproximada de 0,2 ha.
Canalización subterránea en media tensión	Transmiten la energía desde los aerogeneradores hacia las celdas de media tensión en la subestación elevadora a través de cables de poder. Utilizan las mismas zanjas para todo el cableado y se ubican de forma paralela a los caminos del parque.

Continúa.

Instalación		Descripción
Torres de monitoreo	de	Se han instalado 3 torres para monitorear las variables meteorológicas en el área del parque, cubriendo una superficie aproximada de 78 m ² cada una y una altura de 90 m.
SE elevadora e instalaciones de operación	de	La subestación elevadora se ubica en el área del Parque, ocupando una superficie aproximada de 1,4 ha, dentro de la cual se encuentra el Edificio de Operación y Mantenimiento y el patio de transformación.
Línea Transmisión Eléctrica	de	La LTE tiene una longitud aproximada de 39 km, compuesta por 121 estructuras con sus respectivas fundaciones. Constituyen un único circuito con una tensión nominal de 220kV.
Caminos de acceso para la LTE	de	Permiten el ingreso a la LTE y a cada una de las estructuras, los que servirán para su mantenimiento. La longitud total de estos caminos es de aproximadamente 39 km, con un ancho en 4 m.
Paño de Interconexión Sierra Gorda	SE	En la Subestación Eléctrica Sierra Gorda se han instalado los equipos que permiten la correcta evacuación de la energía generada por el Parque al SING.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Geobiota (2013).

Los procesos unitarios se describen a continuación. El detalle de los procesos unitarios se muestra en el Cuadro 5 y se presenta en forma esquemática en la Figura 2.

Transporte: Conjunto de actividades asociadas al transporte de materias primas, componentes, residuos y personal a lo largo de toda la fase de construcción. La principal transformación relacionada a este proceso es la utilización de combustibles como fuente de energía para permitir el movimiento de los vehículos, lo que genera emisiones al medio que incluyen material particulado y gases contaminantes (SEA, 2012). El proceso comienza con la primera visita al sitio con fines constructivos y se termina una vez que se da inicio a la fase de Operación y Mantenimiento. Para detallar los tipos de transporte considerados en este proceso, se han definido las siguientes categorías:

- **Materias primas y equipos terminados:** traslado de estos insumos desde sus sitios de extracción o fabricación hacia el lugar de emplazamiento del proyecto. Esto incluye la utilización de medios de transporte como camiones, aviones y barcos.
- **Personal:** traslado de los trabajadores desde su lugar de origen hacia el sitio de construcción. Los medios de transporte considerados en este subproceso incluyen camionetas, buses y aviones.
- **Residuos:** traslado de los residuos hacia un tercero, el cual puede reutilizarlos o tratarlos para su disposición final. Este subproceso se realiza utilizando camiones.

Movimiento de Tierra: todas aquellas actividades relacionadas con el acondicionamiento del terreno para la instalación de las infraestructuras del proyecto (caminos, subestación, aerogeneradores o torres de transmisión según sea el caso). Incluye las operaciones de excavación, relleno y compactación utilizando material proveniente del sitio o áridos transportados desde canteras externas (SEA, 2012). Las principales transformaciones del

proceso están relacionadas con el consumo de combustible de las máquinas excavadoras y el acondicionamiento del terreno. Este proceso inicia con las primeras intervenciones en el sitio y se termina una vez que el terreno esté totalmente acondicionado para los requerimientos de las siguientes actividades de construcción.

Cimentación y Fundación: conjunto de operaciones que permiten construir los elementos estructurales de las edificaciones del proyecto. Incluye el encofrado, hormigonado, fraguado y relleno estructural de las excavaciones realizadas en el proceso anterior, así como la pavimentación de caminos y plataformas (EGP, 2014). Las principales transformaciones asociadas a esta operación corresponden al consumo de combustible para energizar vehículos y maquinarias. También incluye los consumos de materiales como acero, agua y hormigón. El proceso termina una vez que los cimientos estén preparados para poder montar las respectivas infraestructuras.

Montaje: todas las actividades que permiten la instalación de la infraestructura requerida para el proyecto. Inicia con la recepción de los equipos (aerogeneradores, componentes de la subestación o torres de transmisión según sea el caso), continúa con el establecimiento de los mismos sobre sus respectivas fundaciones, y la instalación del sistema eléctrico asociado a cada equipo; y finaliza con las pruebas de la infraestructura instalada (EGP, 2015 b). Dentro de las principales transformaciones de este proceso se incluye el consumo energético de la maquinaria para el levantamiento de equipos, ensamblajes y soldaduras.

Mantenimiento de Faena: operaciones que permiten mantener el correcto estado de los espacios y equipos utilizados durante la construcción. Incluye la humectación de caminos para controlar las emisiones de material particulado, la limpieza de los equipos previo a su instalación y los aceites y lubricantes para las maquinarias (Geobiota, 2013). Las principales transformaciones asociadas a este proceso son el consumo de agua y la generación de residuos peligrosos provenientes de los restos de las sustancias utilizadas.

Uso de Instalaciones de Faena: conjunto de operaciones relacionadas con los trabajadores en el sitio de construcción. Abarca desde el uso de comedores, oficinas u otras instalaciones habitables; consumo de alimentos y agua potable; uso de baños. Las principales transformaciones durante este proceso son el consumo de combustible de los equipos generadores que alimentan las instalaciones de faena, la generación de residuos por el consumo de alimentos y otras actividades de oficina, y la generación de aguas servidas. Este proceso se lleva a cabo durante toda la fase de construcción del proyecto y por tanto terminan simultáneamente.

Gestión de Residuos: conjunto de operaciones orientadas al manejo de los residuos generados durante la construcción del proyecto. El proceso inicia con la recepción de los residuos generados por las operaciones anteriores y su posterior segregación de acuerdo a si son reutilizados en la faena (previo tratamiento de ser necesario), utilizados por terceros fuera de la faena o dispuestos de manera permanente en lugares autorizados.

Asimismo se identifican otros procesos que no se encuentran dentro de los límites del ACV, dado que no forman parte de las actividades ejecutadas en el sitio de construcción, pero cuyas entradas o salidas forman parte del sistema estudiado. Estos procesos son:

Fabricación y/o extracción de materias primas y equipos: operaciones realizadas por un tercero (proveedor) para la obtención de los insumos requeridos para la construcción fuera del sitio de emplazamiento del proyecto. Este flujo incluye tanto las materias primas como los equipos instalados en el parque eólico o la subestación y la línea de transmisión.

Tratamiento externo de residuos: conjunto de operaciones realizadas por un tercero (receptor) para la reutilización, el tratamiento y/o disposición final de los residuos.

Cuadro 5. Actividades de construcción incluidas en cada Proceso Unitario.

Proceso Unitario	Parque eólico	Línea de Transmisión
Transporte	<ul style="list-style-type: none"> • Aerogeneradores • Subestación eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Personal para construcción • Materias primas e insumos para sitio de construcción • Residuos y desechos • Torres de Alta Tensión
Movimiento de Tierra	<ul style="list-style-type: none"> • Excavaciones para cimientos de aerogeneradores 	<ul style="list-style-type: none"> • Despeje y limpieza de terreno • Excavación, relleno y compactación • Excavaciones para cimientos de torres de alta tensión
Cimentación y Fundación	<ul style="list-style-type: none"> • Fundación de aerogeneradores • Cimientos subestación eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Fundaciones de torres de alta tensión
Montaje	<ul style="list-style-type: none"> • Montaje de aerogeneradores • Montaje y conexión de cableado de media tensión • Canalización subterránea • Construcción y montaje de subestación elevadora 	<ul style="list-style-type: none"> • Montaje de torres de alta tensión y cableado. • Paño de interconexión
Mantenimiento de Faena		<ul style="list-style-type: none"> • Humectación de caminos • Aplicación de aceites en maquinaria • Limpieza de componentes
Uso de Instalaciones de Faena		<ul style="list-style-type: none"> • Uso de instalaciones habitables • Consumo de alimentos y agua potable • Generación de residuos y aguas servidas
Gestión de Residuos	<ul style="list-style-type: none"> • Separación de residuos según grado de peligrosidad • Segregación para su reutilización o disposición 	

Fuente: Elaboración propia, a partir de Geobiota (2013).

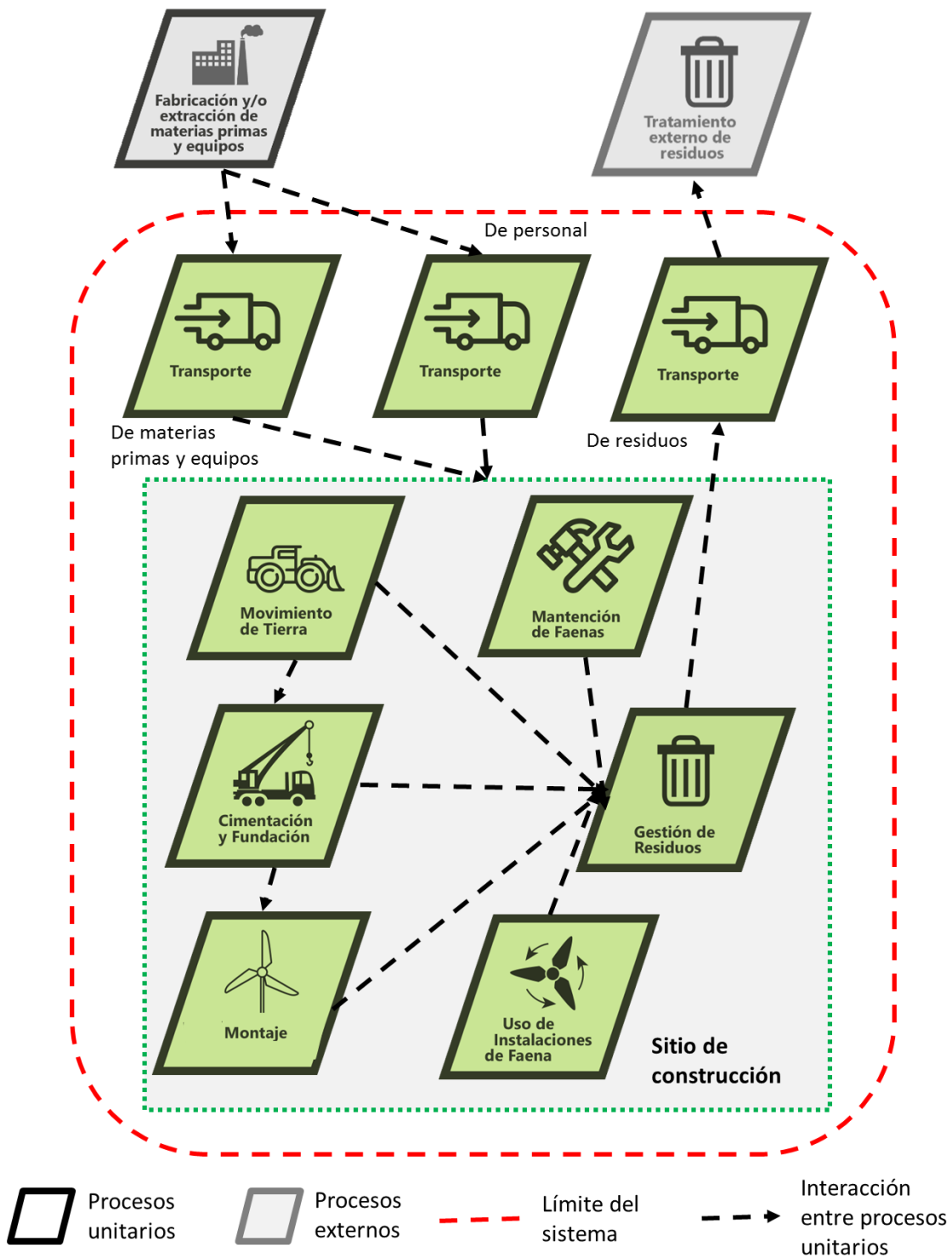


Figura 2. Límites del Sistema y Procesos Unitarios considerados en el Alcance del estudio.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Geobiota (2013) y SEA (2012).

Unidades Funcionales.

Parque eólico (infraestructura de generación): La unidad funcional definida para este primer Análisis de Ciclo de Vida es 1 MW potencia instalada. La potencia instalada corresponde a la suma de las potencias nominales de todos los dispositivos electrónicos de una instalación, o la capacidad máxima de una central (Fuentes, 2014). Para el proyecto Sierra Gorda Este, los 56 aerogeneradores de 2 MW de potencia nominal componen los 112 MW de potencia instalada del parque eólico (Geobiota, 2013).

Línea de transmisión eléctrica (infraestructura de transmisión): este segundo ACV tiene como unidad funcional 1 Km de LTE construida. Las LTE se componen de un conjunto de dispositivos que transportan la energía eléctrica a los centros de distribución (Jiménez *et al.*, 2006). La línea de transmisión del proyecto, con una longitud de 39 km y un nivel de tensión 220 kV, se conecta con la LTE 220 kV Spence-Sierra Gorda, para finalmente entregar la energía producida al SING a través de la Subestación Eléctrica Sierra Gorda (Geobiota, 2013).

Para ambas unidades funcionales, los ACV incluirán la adquisición de materias primas y equipos fabricados, procesos constructivos, gestión de residuos y emisiones, hasta su puesta en marcha (Figura 2).

Categorías de Impacto Ambiental. A continuación se describen las categorías de impacto incluidas en este análisis.

Cambio Climático: Fenómeno observado en el aumento progresivo de las temperaturas promedio de la atmósfera terrestre y de los océanos (IHOBE, 2009), que se traducen en mecanismos ambientales que afectan la salud humana y la salud del medio ambiente (Goedkoop *et al.*, 2013). Las principales consecuencias del cambio climático incluyen, entre otras, la disminución de disponibilidad de agua, un aumento de eventos de inundaciones y sequías, reducción de rendimientos agrícolas en zonas de baja latitud y pérdida de biodiversidad en áreas tropicales y semiáridas (Herrán, 2012). Los componentes de esta categoría se indican en el Cuadro 6:

Cuadro 6. Componentes de la Categoría de Impacto Cambio Climático

Términos	Descripción
Resultados del ICV	Cantidad de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por unidad funcional
Modelo de caracterización	ReCiPe 2008, Midpoint Hierarchist (horizonte de 100 años)
Indicador de categoría	Forzamiento radiativo infrarrojo ($W \cdot m^{-2}$)

Continúa.

Términos	Descripción
Factor de caracterización	Potencial de Calentamiento Global (PCG) para cada gas de efecto invernadero (kg CO _{2eq} ·kg gas ⁻¹)
Resultados del indicador de categoría	Toneladas equivalentes de CO ₂ por unidad funcional

Fuente: Elaboración propia, a partir de Goedkoop *et al.* (2013).

Consumo de Agua: Las mediciones relacionadas con la huella del agua incluyen uso directo y uso indirecto (Hoekstra *et al.*, 2011). El agotamiento de agua puede generar impactos negativos sobre la calidad de los ecosistemas, pudiendo afectar la biodiversidad que soportan. Este impacto también se traduce en el aumento del consumo energético requerido para la obtención de agua, por ejemplo bombeo de aguas subterráneas o plantas de desalinización (Loiseau, 2010) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Componentes de la Categoría de Impacto Consumo de Agua

Términos	Descripción
Resultados del ICV	Cantidad de agua consumida
Modelo de caracterización	ReCiPe 2008, Midpoint Hierarchist (horizonte de 100 años)
Indicador de categoría	Cantidad de agua (m ³)
Factor de caracterización	Consumo de agua dulce (m ³)
Resultados del indicador de categoría	Metros cúbicos de agua consumidos por unidad funcional

Fuente: Elaboración propia, a partir de Goedkoop *et al.* (2013).

Consumo de Combustibles Fósiles: El agotamiento de combustibles fósiles y su combustión se traduce en un aumento en el stock de carbono en la atmósfera, aumentando la concentración de gases de efecto invernadero y por ende, favoreciendo el cambio climático. El agotamiento también se traduce en mayores costos (técnicos y/o tecnológicos) para su obtención (Kverndokk, 1994). La construcción de este indicador requiere unificar los rendimientos caloríficos o energéticos a partir de un combustible de referencia, en este caso el petróleo, pudiendo utilizarse Toneladas Equivalentes de Petróleo (TEP) (GCE, 2012) o kilogramos de petróleo equivalente, como ocurre con ReCiPe 2008 (Goedkoop *et al.*, 2013). Los componentes de esta categoría se indican en el Cuadro 8:

Cuadro 8. Componentes de la Categoría de Impacto Consumo de Combustibles Fósiles

Términos	Descripción
Resultados del ICV	Cantidad de combustible fósiles (energía) consumida

Continúa.

Términos	Descripción
Modelo de caracterización	ReCiPe 2008, Midpoint Hierarchist (horizonte de 100 años)
Indicador de categoría	Reducción de valor de calentamiento (MJ)
Factor de caracterización	Equivalencia energética para cada combustible fósil (kg equivalente de petróleo·kg combustible ⁻¹).
Resultados del indicador de categoría	Toneladas equivalentes de petróleo consumidas por unidad funcional

Fuente: Elaboración propia, a partir de Goedkoop *et al.* (2013).

Formación de Material Particulado: El material particulado es un contaminante atmosférico cuya formación aporta a generar daño a la salud de las personas, (efectos nocivos, principalmente en los sistemas respiratorio y circulatorio; disminución de la visibilidad), deterioro de materiales y daño a ecosistemas (MMA, 2011 a). En términos ambientales, el aumento de material particulado se traduce en una reducción de la visibilidad y su reacción con otros gases favorece la lluvia ácida y de ozono (Kumar Rai, 2015) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Componentes de la Categoría de Impacto Formación de Material Particulado

Términos	Descripción
Resultados del ICV	Sustancias favorecedoras de formación de material particulado y material particulado (móvil y estacionario)
Modelo de caracterización	ReCiPe 2008, Midpoint Hierarchist (horizonte de 100 años)
Indicador de categoría	Emisiones de PM ₁₀ (kg)
Factor de caracterización	Potencial de formación de material particulado (PMFP) para cada sustancia favorecedora de formación de material particulado (kg PM _{10eq} ·kg gas ⁻¹)
Resultados del indicador de categoría	Toneladas equivalentes de PM ₁₀ por unidad funcional

Fuente: Elaboración propia, a partir de Goedkoop *et al.* (2013).

Deterioro de la Capa de Ozono: Los gases con Potencial de Deterioro de Ozono (PDO), llamados Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (SAOs) son químicos recalcitrantes que destruyen gran cantidad de moléculas de ozono (Harris *et al.*, 2014). La alteración del ciclo natural del ozono estratosférico tiene como consecuencia directa el aumento de la radiación ultravioleta que llega a nivel del suelo, lo que aumenta la exposición a radiación ultravioleta B, teniendo impactos negativos sobre la salud humana (cáncer de piel, cataratas y debilitamiento del sistema inmunológico) y sobre los ecosistemas (disminución del crecimiento de las plantas, afectación a organismos unicelulares y sistemas acuáticos) (MMA, 2011 b). Los componentes de esta categoría se indican en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Componentes de la Categoría de Impacto Deterioro de la Capa de Ozono

Términos	Descripción
Resultados del ICV	Cantidad de sustancias agotadoras de ozono (SAO) por unidad funcional
Modelo de caracterización	ReCiPe 2008, Midpoint Hierarchist (horizonte de 100 años)
Indicador de categoría	Concentración de ozono estratosférico (ppt - unidades equivalente de Cl ₂)
Factor de caracterización	Potencial de Deterioro de Ozono (PDO) para cada sustancia agotadora de ozono (kg CFC-11 _{eq} ·kg gas ⁻¹)
Resultados del indicador de categoría	Toneladas equivalentes de PM ₁₀ por unidad funcional

Fuente: Elaboración propia, a partir de Goedkoop *et al.* (2013).

Criterios de corte y limitaciones. A continuación se indican los elementos que no han sido considerados en el análisis y las principales restricciones asociadas a la obtención de información.

Criterios de corte:

- Transporte terrestre fabricantes: Quedan fuera de este estudio los impactos del transporte desde el sitio de fabricación al puerto de salida para su envío al sitio de faena, pues se desconoce el tipo de vehículo utilizado por el proveedor. Asimismo se excluyen los impactos derivados del transporte de la maquinaria de construcción (grúas, excavadoras y otros), puesto que no forman parte del sistema de registros de la empresa.
- Impactos ambientales de fabricación de maquinarias y vehículos: Se ha excluido de este análisis la huella de fabricación de los equipos y/o maquinarias que se utilizan en las faenas y que no son instalados para ser utilizados durante la operación del parque eólico, ya que pueden volver a ser utilizados en otras actividades ajenas al proyecto. Se incluyen en esta exclusión los equipos electrógenos, la maquinaria de construcción y los vehículos utilizados durante el transporte.
- Alimentos e insumo de oficina: Estos flujos no han sido considerados como entradas dentro del proceso de ‘Uso de Instalaciones de Faena’, ya que la empresa no cuenta con un registro detallado de estos insumos. Por tanto, solo se ha considerado como salidas del proceso, ya que existen procedimientos que permiten su registro y cuantificación para el proceso de ‘Gestión de Residuos’.

Limitaciones:

- Información entregada por contratistas: Los registros ambientales requeridos por la compañía y utilizados para la realización de este ACV provienen de la información entregada por los contratistas que construyen el Parque eólico. En este sentido, es necesario considerar la existencia de posibles sesgos en la información que escapen del control interno de la compañía que puede afectar la calidad de la información primaria que se recoge.
- Información entregada por proveedores: Las declaraciones ambientales de los proveedores utilizadas en este análisis se obtienen a partir de revisión bibliográfica y no como un requerimiento de la empresa con los proveedores. Esto obliga a utilizar información secundaria y la estimación de emisiones en el estudio, impactando negativamente sobre la calidad de los datos utilizados.

Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

Entradas y Salidas

A partir de las actividades descritas en cada proceso unitario y tras la revisión de las especificaciones técnicas de estas actividades, se construyó un listado de entradas y salidas para cada una. Posteriormente se agruparon los flujos de las actividades pertenecientes al mismo proceso, para finalmente definir las entradas y salidas totales correspondientes a cada proceso unitario (Cuadro 11).

Cuadro 11. Entradas y salidas incluidas en cada Proceso Unitario.

Proceso Unitario	Entrada	Salida
Transporte ⁽¹⁾	Transporte marítimo de equipos Transporte aéreo de equipos Transporte terrestre de materias primas y equipos Transporte terrestre de personal Transporte terrestre de residuos	Emisiones atmosféricas por combustión de vehículos
		Continúa.
Proceso Unitario	Entrada	Salida
	Agua industrial	Emisiones atmosféricas maquinaria

Movimiento de Tierra	Áridos Bischofita Combustible (maquinaria)	Restos materiales de excavación ⁽²⁾
Cimentación y Fundación	Acero Hormigón ⁽³⁾ Combustible (maquinaria)	Emisiones atmosféricas maquinaria Emisiones atmosféricas generadores Restos de hormigón ⁽²⁾ Restos metálicos ⁽²⁾
Montaje	Áridos Cables Fibra óptica Combustible (maquinaria) Aerogeneradores Torres de alta tensión Componentes subestación Tubos de PVC	Emisiones atmosféricas maquinaria Emisiones atmosféricas generadores Restos de cables ⁽²⁾ Residuos de embalajes ⁽²⁾
Mantenimiento de Faena	Agua industrial Aceites y lubricantes	Restos de Aceites y lubricantes ⁽²⁾
Uso de Instalaciones de Faena	Agua potable (servicios higiene y consumo) Combustible (maquinaria)	Aguas servidas ⁽²⁾ Emisiones atmosféricas generadores Residuos domiciliarios ⁽²⁾
Gestión de Residuos	Aguas servidas Residuos domiciliarios Residuos industriales no peligrosos Residuos industriales peligrosos	Aguas servidas para tratamiento Residuos domiciliarios para relleno sanitario Residuos industriales no peligrosos para disposición Residuos industriales no peligrosos para reutilización Residuos industriales peligrosos para disposición

⁽¹⁾ Incluyen el consumo de combustible y el desgaste promedio del vehículo

⁽²⁾ Flujo intermedio, ingresa a proceso unitario Gestión de Residuos

⁽³⁾ Incluyen agua, cementos, aditivos y maquinaria mixer

Fuente: Elaboración propia.

Cabe destacar, como se indica en el cuadro anterior, que los residuos líquidos y sólidos generados por los distintos procesos unitarios son considerados flujos intermedios, ya que son entradas del proceso unitario Gestión de Residuos.

Fuentes de información y supuestos asociados

Fuentes primarias. Tras la revisión del sistema de registros ambientales y de construcción de EGP, se han definido los datos de entradas y salidas que se obtienen en terreno, el formato de registro requerido para este ACV y los procedimientos de cálculo para su cuantificación. El Cuadro 12 muestra la información primaria utilizada en cada proceso unitario. El detalle de los formularios de registro y los cálculos asociados se muestran en el Apéndice 3.

Cuadro 12. Información primaria para inventario de entradas y salidas incluidas en cada Proceso Unitario.

Proceso Unitario	Dato obtenido por registro EGP
Transporte	Tipo de vehículo Distancia recorrida Tonelaje material transportado
Movimiento de Tierra	Agua industrial Áridos Bischofita Maquinaria
Cimentación y Fundación	Acero Hormigón
Montaje	Áridos Fibra óptica Cables Tubos de PVC Maquinaria
Mantenimiento de Faena	Agua Industrial Aceites y Lubricantes
Uso de Instalaciones de Faena Gestión de Residuos	Agua Potable Aguas Servidas Residuos Domiciliarios Residuos Industriales No Peligrosos Residuos Industriales Peligrosos

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del combustible, el registro de consumo utilizado por la compañía no permite su asignación a un proceso unitario en particular, por lo que se realiza una estimación del consumo de combustible interno del parque para cada proceso unitario que lo utiliza ('Movimiento de Tierra', 'Cimentación y Fundación', 'Montaje'). El procedimiento consiste en la asignación de las actividades realizadas por un contratista a un determinado proceso unitario y a partir del registro diario de construcción, determinar la proporción de actividades correspondiente a cada proceso.

Fuentes secundarias. Las entradas y salidas que no poseen registro de fuente primaria, fueron calculadas a partir de procedimientos descritos de fuentes secundarias (Cuadro 13). El detalle de los valores utilizados y los cálculos realizados se muestra en el Apéndice 4.

Cuadro 13. Fuentes bibliográficas utilizadas para estimación de entradas y salidas. Incluidas en cada Proceso Unitario.

Proceso Unitario	Entrada / Salida	Dato de origen	Procedimiento de estimación
Movimiento de Tierra	Emisiones maquinaria	Horas Máquina	SEREMI MMA RM (2012); Geobiota (2013)
Cimentación y Fundación	Emisiones equipos generadores	Consumo combustible generadores	CONAMA (2009)
Montaje	Aerogeneradores	Datos del proyecto	Proveedor (Muro y Fernández, 2013)
	Componentes Subestación	Datos del proyecto	Proveedor (Muro y Fernández, 2013)
	Torres de Alta Tensión	Datos del proyecto	Revisión Bibliográfica (Wang, 2011)
	Emisiones maquinaria	Horas Máquina	SEREMI MMA RM (2012); Geobiota (2013)
	Emisiones equipos generadores	Consumo combustible generadores	CONAMA (2009)
Uso de Instalaciones de Faena	Emisiones equipos generadores	Consumo combustible generadores	CONAMA (2009)

Fuente: Elaboración propia.

Supuestos.

Contratistas principales: La planta completa (infraestructura de generación y transmisión) fue construida por tres contratistas principales. El primero se encarga de las obras civiles del parque y el segundo de los equipos de generación. En forma paralela el tercer contratista se encarga de las obras civiles y el montaje de la infraestructura de transmisión. Se asume que los registros de cada uno de estos contratistas son exclusivos de sus actividades de construcción y que no se superponen. Esto facilita la asignación de los flujos a cada sistema y proceso unitario.

Flujos de entrada: Siempre se asume que las materias primas utilizadas por los proveedores son de origen primario. Solo cuando el proveedor lo indique, se considerará que los materiales y productos manufacturados que ingresan al sistema provienen de la recuperación, reutilización o reciclaje.

Tratamiento de los materiales al fin de la vida útil: respecto al tratamiento de los residuos generados en la fase de construcción, el sistema de registro con el que se trabajó permitió asignar su tipo de tratamiento (disposición en relleno sanitario, recuperación, reutilización o reciclaje). Si no fue posible asignar un tipo de tratamiento a un residuo en particular, se asumió que su destino fue un relleno sanitario.

Componentes electrónicos: todos los componentes electrónicos de los aerogeneradores fueron incluidos en este análisis utilizando la información entregada por el proveedor en su propio estudio de ACV, ajustando los resultados a la unidad funcional de este estudio. El cableado utilizado en el parque se obtuvo a partir de los informes de construcción de EGP.

En cuanto a la Subestación eléctrica, sus elementos estructurales (cimientos y estructuras metálicas) fueron registrados como recursos utilizados para la construcción. Sin embargo, para sus componentes electrónicos se utilizó la aproximación presentada por el proveedor de los aerogeneradores en su ACV, asumiendo que la energía de los aerogeneradores posee requerimientos de transformación similares a los declarados por el proveedor.

Transporte: para el transporte marítimo y aéreo de productos terminados provenientes del extranjero, se consideran las características descritas en los documentos de embarque. Las distancias marítimas entre puertos se obtuvieron de la página <https://www.searates.com/es/reference/portdistance/>, mientras que las distancias aéreas se calcularon en la página <https://www.distancecalculator.net/>, fuentes validadas por EGP.

Dado que es interés de la empresa incluir las emisiones del vehículo en su viaje de retorno, sin carga, el cálculo incluye la distancia de regreso con una carga despreciable (10 kg). El supuesto asociado a este cálculo es que el vehículo retorna a su sitio de origen por el mismo camino. El transporte de materiales al interior del parque ha quedado excluido del análisis, debido a la ausencia de registros internos que permitan cuantificar los totales transportados al interior de la faena.

Información utilizada: ante errores en el registro de información, como posibles inconsistencias en las unidades de medida o ausencia de información, se consideró el peor escenario. Por ejemplo, si no se registró el tonelaje transportado por algún vehículo, se asumió que el viaje fue realizado con su máxima capacidad de carga.

Ajuste de datos. Las unidades de medida utilizadas en cada entrada y salida se determinaron a partir de los requerimientos de la base de datos ELCD para cada material o residuo. A continuación se presentan las unidades de registro utilizadas para cada uno (cuadros 14 y 15).

Cuadro 14. Unidades de medida utilizadas para el registro de las entradas de cada Proceso Unitario.

Proceso Unitario	Entradas	Unidad utilizada
Transporte	Transporte Material Barco	tkm

		Transporte Material Camiones	tkm
		Transporte Material Aviones	tkm
		Transporte Personal Camionetas	tkm
		Transporte Personal Buses	tkm
		Transporte Personal Aviones	tkm
Movimiento de Tierra		Agua Industrial	m ³
		Áridos	t
		Bischofita	t
		Diésel (consumo interno maquinaria)	t
Cimentación y Fundación		Maquinaria	HM (Horas Máquina)
		Acero	t
		Diésel (consumo interno maquinaria)	t
		Maquinaria	HM (Horas Máquina)
Montaje		Hormigón	t
		Áridos	t
		Fibra óptica	t
		Cables	t
		Tubos de PVC	t
		Aerogeneradores	u (unidad)
		Diésel (consumo interno maquinaria)	t
		Maquinaria	HM (Horas Máquina)
Mantenimiento de Faena		Aceites y Lubricantes	t
		Agua Industrial	m ³
Uso de Instalaciones de Faena		Agua potable	m ³
		Diésel (consumo interno generadores eléctricos)	t
Gestión de Residuos		Lodos y Aguas Servidas	m ³
		Residuos Domiciliarios	t
		Residuos Industriales No Peligrosos	t
		Residuos Industriales Peligrosos	t

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 15. Unidades de medida utilizadas para el registro de las salidas de cada Proceso Unitario.

Proceso Unitario	Salidas	Unidad utilizada
Transporte	Emisiones Transporte Barcos	kg
	Emisiones Transporte Camiones	kg
	Emisiones Transporte Aviones	kg
	Emisiones Transporte Camionetas	kg
	Emisiones Transporte Buses	kg

Movimiento de Tierra	Emisiones Maquinaria	kg
	Emisiones Grupos Electrógenos	Kg
Cimentación y Fundación	Emisiones Maquinaria	kg
	Emisiones Grupos Electrógenos	kg
	Residuos Industriales No Peligrosos	t
Montaje	Emisiones Maquinaria	kg
	Emisiones Grupos Electrógenos	kg
	Residuos Industriales No Peligrosos	t
Mantenimiento de Faena	Residuos Industriales Peligrosos	t
Uso de Instalaciones de Faena	Aguas Servidas	m ³
	Emisiones Grupos Electrógenos	kg
	Residuos Domiciliarios	t
Gestión de Residuos	Aguas Servidas para tratamiento	m ³
	Residuos Domiciliarios Valorizados	t
	Residuos Domiciliarios para Disposición	t
	Residuos Industriales No Peligrosos Valorizados	t
	Residuos Industriales No Peligrosos para Disposición	t
	Residuos Industriales Peligrosos para Disposición	t

Fuente: Elaboración propia.

Totales de Inventario

A continuación se detallan los totales registrados para todas las entradas y salidas de cada proceso unitario de los sistemas de estudio, entre el 12 de diciembre de 2015 y el 31 de diciembre de 2016. Estos valores se expresan de acuerdo a su respectiva unidad funcional.

Transporte. La base de datos utilizada para el tratamiento de la información permite diferenciar las actividades por tipo de vehículo y requiere que los registros se expresen en función de la distancia recorrida y el peso del material transportado (tkm) (ELCD, 2012). Los totales registrados por tipo de transporte se indican en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Entradas totales del proceso ‘Transporte’ por unidad funcional

Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación	Infraestructura Transmisión	Unidad
----------------------------	----------------------------	-----------------------------	--------

Transporte marítimo de equipos	3.297.620,60	14.284,38 tkm
Transporte aéreo de equipos	114.317,90	- tkm
Transporte terrestre de materiales, equipos y residuos	155.813,38	250.492,03 tkm
Transporte aéreo de personal	1.089,24	3.128,06 tkm
Transporte terrestre de personal	1.665,76	3.365,50 tkm

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las salidas, la base de datos posee un listado de todas las emisiones estimadas para cada tipo de vehículo (ELCD, 2012). A modo de resumen, se presentan las cantidades totales de las principales emisiones estimadas para cada tipo de transporte incluido en este estudio (Cuadro 17).

Cuadro 17. Principales emisiones atmosféricas del proceso ‘Transporte’, por unidad funcional

Tipo transporte	PE	LTE	PE	LTE	PE	LTE	PE	LTE
	CO ₂ (kg)		NO ₂ (kg)		SO ₂ (kg)		MP ₁₀ (kg)	
Transporte marítimo de equipos	7.780,98	33,70	192,07	0,83	141,06	0,61	4,57	0,02
Transporte aéreo de equipos	28.900,38	0	145,15	0,00	13,79	0,00	0,13	0,00
Transporte terrestre de materiales	7.612,00	12.292,03	60,51	97,82	4,06	6,56	0,04	0,07
Transporte aéreo de personal	2.198,60	6.313,92	11,04	31,71	1,05	3,01	0,01	0,03
Transporte terrestre de personal	218,51	442,09	1,78	3,59	0,12	0,24	0,00	0,00
Total	46.710,47	19.081,75	410,55	133,95	160,08	10,42	4,76	0,12

PE: Parque Eólico (Infraestructura de generación)

LTE: Línea de Transmisión Eléctrica (Infraestructura de transmisión)

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Movimiento de Tierra. Los principales insumos empleados durante las actividades relacionadas con este proceso incluyen el agua industrial y los áridos utilizados para adecuar la topografía a los requerimientos de la infraestructura (EGP, 2015 b). Para realizar estas labores constructivas es necesaria maquinaria especializada y el combustible para su funcionamiento. Adicionalmente en este proceso se incorpora bischofita, una sal de magnesio que ayuda a controlar el polvo en suspensión y que es utilizada para la habilitación de caminos (Cuadro 18).

Cuadro 18. Entradas totales del proceso ‘Movimiento de Tierra’, por unidad funcional

Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación	Infraestructura Transmisión	Unidad
Agua industrial	149,86	250,77	m ³
Áridos	1.192,93	27,08	t
Bischofita	0,29	0,38	t
Combustible	4,29	0,83	t
Bulldozer	22,79	14,97	HM
Excavadora / retroexcavadora	86,93	58,87	HM
Compactadora / rodillo	5,00	41,23	HM

Fuente: Elaboración propia.

Respecto de las salidas asociadas a este proceso, su residuo principal son los restos de excavaciones, los cuales no son registrados por la compañía ya que son reutilizados como relleno dentro del mismo proceso o son dispuestos en el sitio sin alterar significativamente la topografía del terreno (EGP, 2015 b). En cuanto a las emisiones atmosféricas, provienen del funcionamiento de las maquinarias utilizadas (Cuadro 19).

Cuadro 19. Principales emisiones atmosféricas del proceso ‘Movimiento de Tierra’, por unidad funcional.

Tipo maquinaria	PE	LTE	PE	LTE	PE	LTE	PE	LTE
	CO (kg)		NO _x (kg)		MP ₁₀ (kg)		HC (kg)	
Bulldozer	11,96	7,86	57,26	37,63	4,39	2,88	5,38	3,54
Retroexcavadora	18,96	12,84	72,40	49,03	6,20	4,20	8,67	5,87
Compactadora	16,57	12,00	79,30	57,43	6,07	4,40	7,45	5,40
Total	47,49	32,70	208,96	144,09	16,66	11,48	21,51	14,81

PE: Parque Eólico (Infraestructura de generación)

LTE: Línea de Transmisión Eléctrica (Infraestructura de transmisión)

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Cimentación y Fundación. Los principales insumos requeridos para este proceso son el hormigón y el acero para la construcción de los refuerzos estructurales. El hormigón es una mezcla de cemento, áridos y agua (EGP, 2015 b) y el sistema de registro permite identificar cada uno de estos insumos individuales para su elaboración. Sin embargo, las bases de datos utilizadas poseen información de los impactos de la elaboración del hormigón en su totalidad (ELCD, 2012; IDIEM, 2015) y por tanto la entrada registrada es el total de hormigón. El acero utilizado en las fundaciones de los aerogeneradores forma parte del encofrado de los cimientos, mientras que en la infraestructura de transmisión se utiliza para los cimientos de las torres (EGP, 2015 b; EGP, 2015 c) (Cuadro 20).

Cuadro 20. Entradas totales del proceso ‘Cimentación y Fundación’, por unidad funcional.

Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación	Infraestructura Transmisión	Unidad
Acero	26,50		1,83 t
Hormigón	376,41		39,16 t
Combustible	8,91		1,28 t

Fuente: Elaboración propia.

Las salidas de este proceso corresponden a los restos de hormigón generados durante su elaboración. A esto se suman las emisiones del proceso de elaboración y las emisiones de los generadores eléctricos utilizados para abastecer la planta de hormigón y la maquinaria para el armado estructural de acero. Los flujos totales registrados y las emisiones estimadas para este proceso se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Salidas y principales emisiones atmosféricas del proceso ‘Cimentación y Fundación’, por unidad funcional.

Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación		Infraestructura Transmisión		Unidad	
Restos de hormigón	2,16		0,16		t	
Restos metálicos	0,09		0,13		t	
Maquinaria	PE	LTE	PE	LTE	PE	LTE
	CO ₂ (kg)		CO (kg)		NO _x (kg)	
Planta hormigón	44,43	4,62	0,09	0,01	0,10	0,01
Generadores	689,19	27,00	3,82	0,15	17,69	0,69

PE: Parque Eólico (Infraestructura de generación)

LTE: Línea de Transmisión Eléctrica (Infraestructura de transmisión)

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Montaje. Los insumos principales de esta etapa son los equipos electromecánicos de generación y transmisión, que corresponden a los aerogeneradores y torres de alta tensión, respectivamente. También incluye la subestación de elevación, que forma parte del sistema de generación (Geobiota, 2013). Estos equipos van acompañados del sistema de cableado que permite la conexión entre los sistemas, áridos y PVC para el aislamiento de estos cables y la maquinaria necesaria para su instalación (Cuadro 22).

Cuadro 22. Entradas totales del proceso ‘Montaje’, por unidad funcional.

Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación	Infraestructura Transmisión	Unidad
Áridos	77,66	63,18	t
Cables	0,49	3,423	T
Combustible	0,92	1,74	T

Fibra óptica	0,23	0,53 t
Tubos PVC	17,97	0,00 t
Aerogeneradores	0,5	- u
Subestación eléctrica	1	- u
Torres de Alta tensión	-	3,10 u
Grúa torre	9,71	24,62 HM
Grúa móvil	62,29	21,95 HM

Fuente: Elaboración propia.

Las salidas generadas por este proceso corresponden a residuos industriales no peligrosos (plásticos, maderas, cartones, otros). Adicionalmente se consideran las emisiones de la maquinaria y los equipos generadores utilizados en las actividades de construcción de este proceso (Cuadro 23).

Cuadro 23. Salidas y emisiones atmosféricas principales del proceso ‘Montaje’, por unidad funcional.

Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación		Infraestructura Transmisión		Unidad	
	PE	LTE	PE	LTE	PE	LTE
Residuos industriales sin especificar						
Cartón						
Maderas						
Plásticos						
Maquinaria						
	CO (kg)		NO _x (kg)		MP ₁₀ (kg)	
Grúa móvil	3,54	8,97	10,04	25,45	1,06	2,68
Grúa torre	22,25	7,84	10,18	29,94	7,28	2,56
Generadores	2,39	0,77	0,00	3,54	0,39	0,12

PE: Parque Eólico (Infraestructura de generación)

LTE: Línea de Transmisión Eléctrica (Infraestructura de transmisión)

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Mantenimiento de Faena. Las principales entradas de este proceso corresponden al agua industrial utilizada en la humectación de los caminos internos del sitio de faena y la limpieza de los equipos, previo a su instalación. El flujo de salida considerado son los restos de aceites y lubricantes (residuos peligrosos) ya que, como se indicó en las restricciones de este análisis, las emisiones asociadas a los vehículos que realizan la humectación de los caminos no son estimadas (Cuadro 24).

Cuadro 24. Totales de inventario del proceso ‘Mantenimiento de Faena’, por unidad funcional.

Entrada o Salida	Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación	Infraestructura Transmisión	Unidad
Entrada	Agua Industrial	83,39	250,77	m ³
Entrada	Aceites y lubricantes	0,07	1,69	Ton
Salida	Restos de aceites y lubricantes (residuos peligrosos)	1,69	0	Ton

Fuente: Elaboración propia.

Uso de Instalaciones de Faena. Las principales entradas consideradas en este proceso son el agua potable para los trabajadores y los requerimientos energéticos de las instalaciones temporales (casinos, oficinas y porterías) (Cuadro 25). Las salidas de este proceso corresponden a Residuos Sólidos Domiciliarios y Aguas Servidas, además de las emisiones atmosféricas del generador eléctrico (Cuadro 26). Cabe destacar que el equipo que abastece las instalaciones temporales es administrado por el contratista a cargo de la infraestructura de generación, por lo que no se registran emisiones asociadas a la infraestructura de transmisión.

Cuadro 25. Entradas totales del proceso ‘Uso de Instalaciones de Faena’, por unidad funcional.

Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación	Infraestructura Transmisión	Unidad
Agua Potable	5,35	0,19	m ³
Combustible	0,23	-	t

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 26. Salidas y emisiones atmosféricas principales del proceso ‘Uso de Instalaciones de Faena’, por unidad funcional.

Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación	Infraestructura Transmisión	Unidad
Residuos domiciliarios	0,65	0,31	t
Aguas Servidas	9,03	0,38	m ³

Continúa.

Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación		Infraestructura Transmisión		Unidad	
	PE	LTE	PE	LTE	PE	LTE
	CO ₂ (kg)		CO (kg)		NO _x (kg)	
Generadores	1.182,01	-	6,55	-	30,35	-

PE: Parque Eólico (Infraestructura de generación)

LTE: Línea de Transmisión Eléctrica (Infraestructura de transmisión)

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Gestión de Residuos. Todos los residuos líquidos y sólidos son acumulados en sitios de acopio temporal diferenciado hasta que son retirados del sitio (Cuadro 27). Previo a su retiro, algunos residuos sólidos son separados para transportarlos a sitios de reutilización o reciclaje, en caso contrario son retirados para su disposición final en sitios autorizados. Las aguas servidas son retiradas para ser tratadas en una planta de tratamiento cercana al sitio de construcción. Los residuos totales y su tipo de tratamiento se indican en el Cuadro 28.

Cuadro 27. Entradas totales del proceso ‘Gestión de Residuos’, por unidad funcional.

Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación	Infraestructura Transmisión	Unidad
Aguas Servidas	9,03	0,38	m ³
Residuos domiciliarios	0,65	0,31	t
Residuos industriales sin especificar	4,62	1,28	t
Restos de hormigón	2,16	0,15	t
Restos metálicos	0,09	0,13	t
Cartón	0,02	0,00	t
Maderas	0,13	0,00	t
Plásticos	0,01	0,00	t
Residuos industriales peligrosos	0,00	0,00	t

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 28. Salidas totales del proceso ‘Gestión de Residuos’, por unidad funcional.

Flujo (material o residuo)	Infraestructura Generación	Infraestructura Transmisión	Unidad
Aguas Servidas para Planta de Tratamiento de Aguas Servidas	9,03	0,38	m ³
Residuos domiciliarios para depósito	0,65	0,31	t
Residuos industriales para depósito	6,87	1,57	t
Residuos industriales para donación	0,24	0,00	t
Residuos peligrosos para depósito	0,00	0,00	t

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida

Factores de Caracterización

Los factores de caracterización utilizados para transformar los totales obtenidos en las entradas y salidas de los distintos procesos unitarios se extrajeron de la base de datos *European Reference Life Cycle Data System* (ELCD, 2012), complementadas con la Ecobase de Construcción, base de datos elaborada para evaluar el impacto de distintos materiales del rubro a nivel nacional (IDIEM, 2015). Los factores de caracterización correspondientes a maquinaria de construcción y equipos generadores eléctricos no se incluían en estas bases de datos, por lo que fueron calculados a partir de la estimación de sus emisiones y los factores de conversión de ReCiPe 2008 indicados en Apéndice 1. Los factores de caracterización correspondientes a equipos electromecánicos instalados durante el proceso de montaje (aerogeneradores, subestación de elevación y torres de alta tensión) se obtuvieron por información de proveedores y ACV complementarios (Sagardoy, 2012; Muro y Fernández, 2013; Bjerke, 2014). Los valores finales utilizados por proceso unitario se detallan en el Apéndice 5.

Estimación de Impactos Ambientales

Impactos totales. A continuación se indican los impactos totales por unidad funcional para los sistemas de generación y transmisión de energía.

Infraestructura de generación: Los procesos unitarios con mayor participación en las categorías de impacto evaluadas son ‘Montaje’, ‘Movimiento de Tierra’ y ‘Cimentación y Fundación’. El primer proceso mencionado concentra más del 80% del impacto calculado en las categorías Consumo de Agua, Cambio Climático, Consumo de Combustibles Fósiles y Formación de Material Particulado. En cambio, los procesos de menores impactos ambientales son ‘Mantenimiento de Faena’, ‘Uso de instalaciones de Faena’ y ‘Gestión de Residuos’ (Figura 3). Los totales cuantificados para cada categoría de impacto se indican en el Cuadro 29.

Cuadro 29. Impactos totales correspondientes a la Infraestructura de generación eléctrica

Unidad funcional	Cambio Climático	Consumo de Agua	Consumo de Combustibles Fósiles	Formación Material Particulado	Deterioro de la Capa de Ozono
	kg CO ₂ eq	m ³	kg petróleo eq	kg MP10 eq	kg CFC-11eq
1 MW de potencia instalada	1.613.063,941	17.817,637	337.407,480	2.691,077	1,261

Fuente: Elaboración propia.

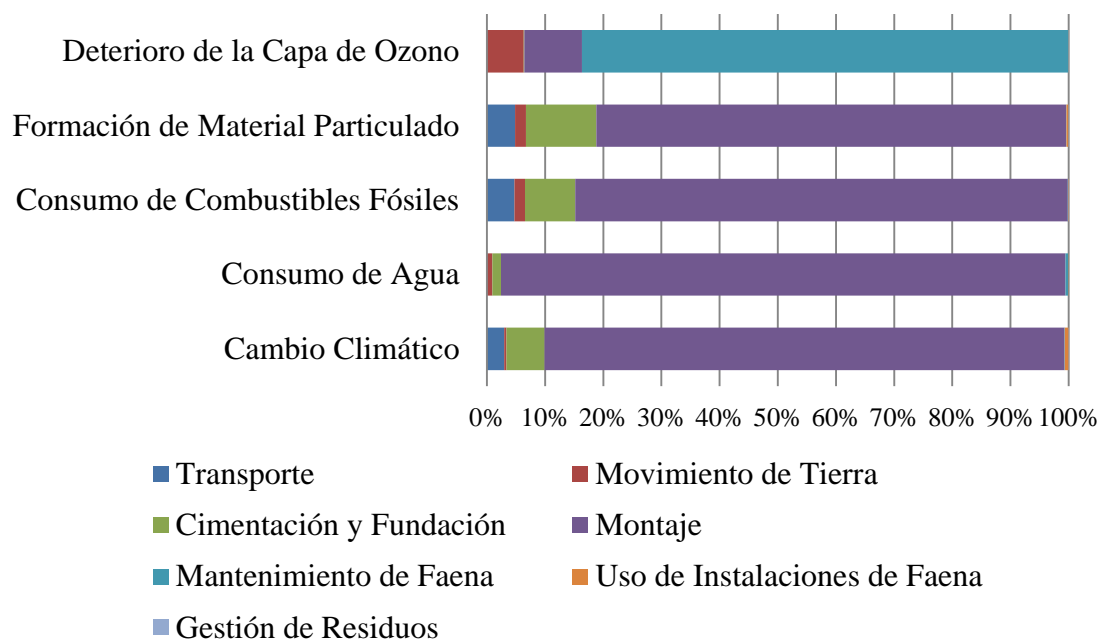


Figura 3. Contribución porcentual de Procesos Unitarios a cada categoría de impacto evaluada - Infraestructura de generación eléctrica.

Infraestructura de transmisión: Los procesos unitarios con mayor injerencia en las categorías de impacto evaluadas en este ACV son ‘Montaje’, ‘Transporte’ y ‘Mantenimiento de Faena’. Tal como ocurre en el subsistema de generación, el proceso de ‘Montaje’ es el que tiene asociados los mayores impactos ambientales, participando en más del 70% de los impactos asociados al Cambio Climático y Consumo de Combustibles Fósiles, Consumo de Agua y Formación de Material Particulado (Cuadro 30). Los procesos de menores impactos ambientales son Mantenimiento de Faena, Uso de instalaciones de Faena y Gestión de Residuos (Figura 4), tal como ocurre en el subsistema anteriormente descrito.

Cuadro 30. Impactos totales correspondientes a la Infraestructura de transmisión eléctrica

Unidad Funcional	Cambio Climático	Consumo de Agua	Consumo de Combustibles Fósiles	Formación de Material Particulado	Deterioro de la Capa de Ozono
	kg CO ₂ eq	m ³	kg petróleo eq	kg MP10 eq	kg CFC-11eq
1 Km LTE construida	123.507,382	11.551,354	30.856,794	232,441	24,754

Fuente: Elaboración propia.

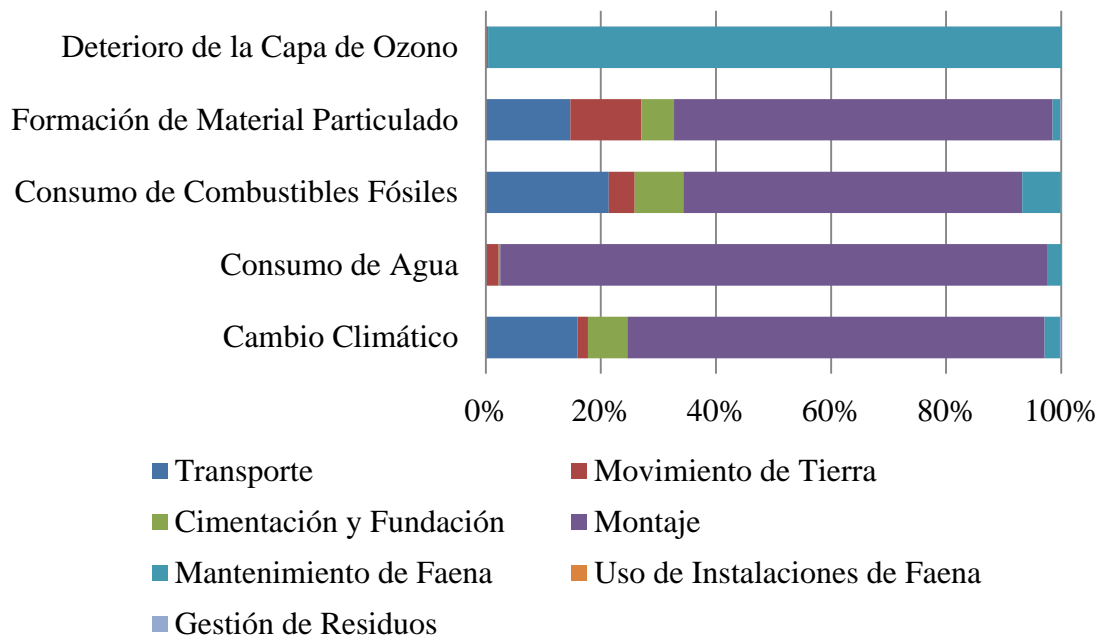


Figura 4. Contribución porcentual de Procesos Unitarios a cada categoría de impacto evaluada - Infraestructura de transmisión eléctrica.

Totales por categoría de impacto.

Cambio Climático: La construcción de la infraestructura de generación produce más del 90% de las emisiones atmosféricas que favorecen el cambio climático por unidad funcional (Figura 5). El proceso unitario con mayores emisiones de GEI tanto para el sistema de generación como de transmisión es ‘Montaje’, con un 90% y un 82% del impacto total, respectivamente (Cuadro 31). En términos proporcionales, ambos sistemas presentan un comportamiento similar, ya que ‘Montaje’, ‘Cimentación y Fundación’ y ‘Transporte’ componen más del 95% de los impactos ambientales asociados a esta categoría, mientras los procesos de ‘Uso de Instalaciones de Faena’, ‘Mantenimiento de Faena’ y ‘Gestión de Residuos’ son los que presentan la menor participación (Figura 6).

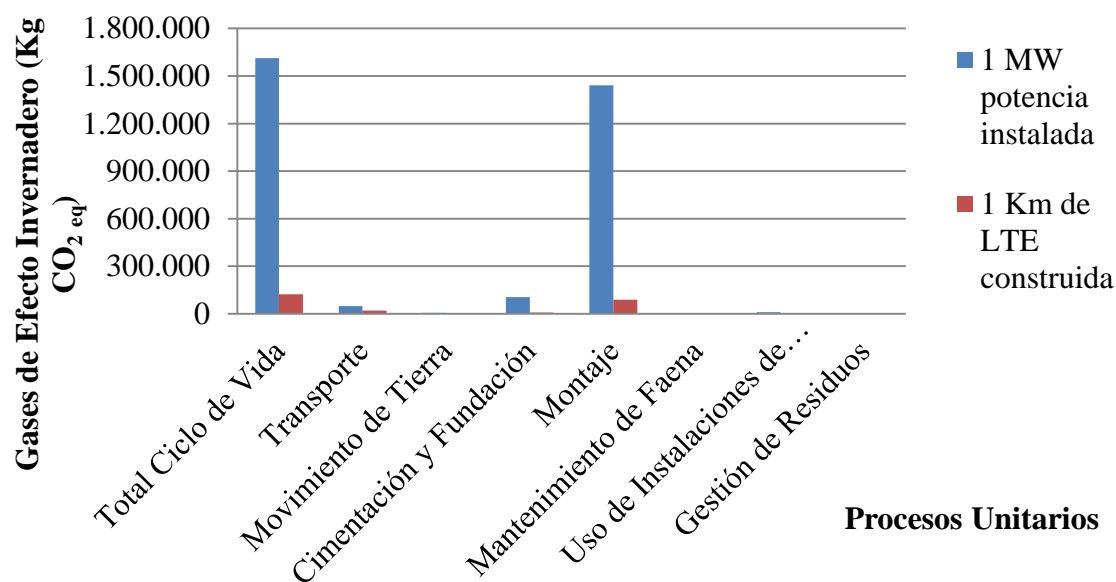


Figura 5. Emisiones totales de gases de efecto invernadero por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Cuadro 31. Emisiones totales de gases de efecto invernadero por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Proceso unitario	1 MW potencia instalada		1 km LTE construida	
	kg CO ₂ eq	%	kg CO ₂ eq	%
Transporte	48.194,19	3	19.642,06	16
Movimiento de Tierra	5.921,69	0	2.300,41	2
Cimentación y Fundación	105.496,34	7	8.421,94	7
Montaje	1.442.159,71	89	89.534,67	72
Mantenimiento de Faena	625,64	0	3.299,55	3
Uso de Instalaciones de Faena	10.316,75	1	0,11	0
Gestión de Residuos	349,63	0	308,65	0
Total Ciclo de Vida	1.613.063,94	100	123.507,38	100

Fuente: Elaboración propia.

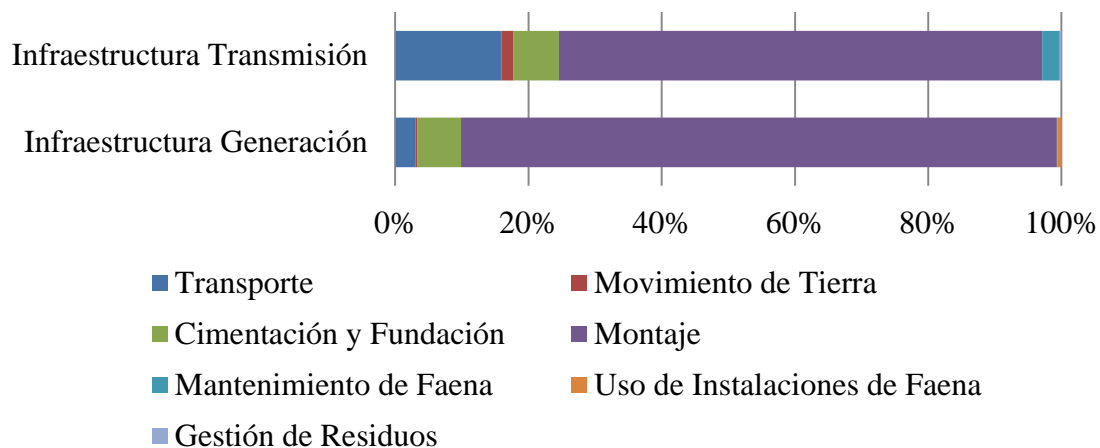


Figura 6. Distribución porcentual de emisiones de gases de efecto invernadero por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Consumo de Agua: Al comparar ambas unidades funcionales, la construcción de la infraestructura de transmisión consume aproximadamente dos tercios de agua utilizada en la infraestructura de generación (Figura 7). Es necesario destacar que el proceso ‘Gestión de Residuos’ en ambos sistemas tiene impacto negativo (Cuadro 32) debido a que las aguas servidas se destinan a tratamientos que permiten su recuperación. En ambos sistemas, el proceso unitario con mayor participación es ‘Montaje’, que representa casi la totalidad del consumo (Figura 8).

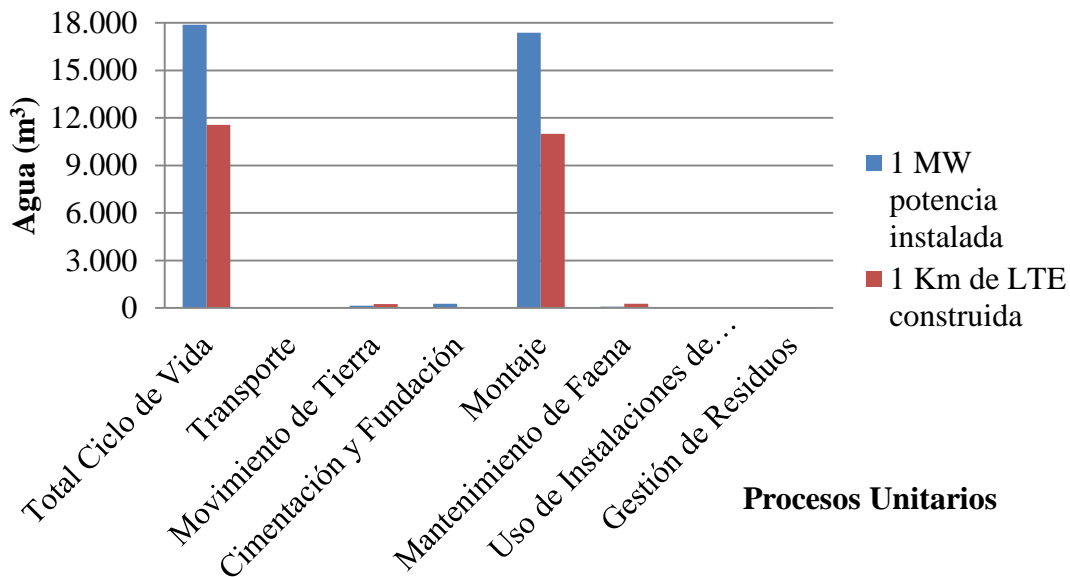


Figura 7. Consumo de agua por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Cuadro 32. Consumo de agua por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Proceso unitario	1 MW potencia instalada		1 km LTE construida	
	m ³	%	m ³	%
Transporte	4,33	0	1,78	0
Movimiento de Tierra	158,68	1	255,31	2
Cimentación y Fundación	265,24	2	33,09	1
Montaje	17.364,33	97	10.993,80	95%
Mantenimiento de Faena	87,04	0	267,46	2
Uso de Instalaciones de Faena	5,44	0	0,20	0
Gestión de Residuos	-7,97	0	-0,28	0
Total Ciclo de Vida	17.817,64	100	11.551,35	100

Fuente: Elaboración propia.

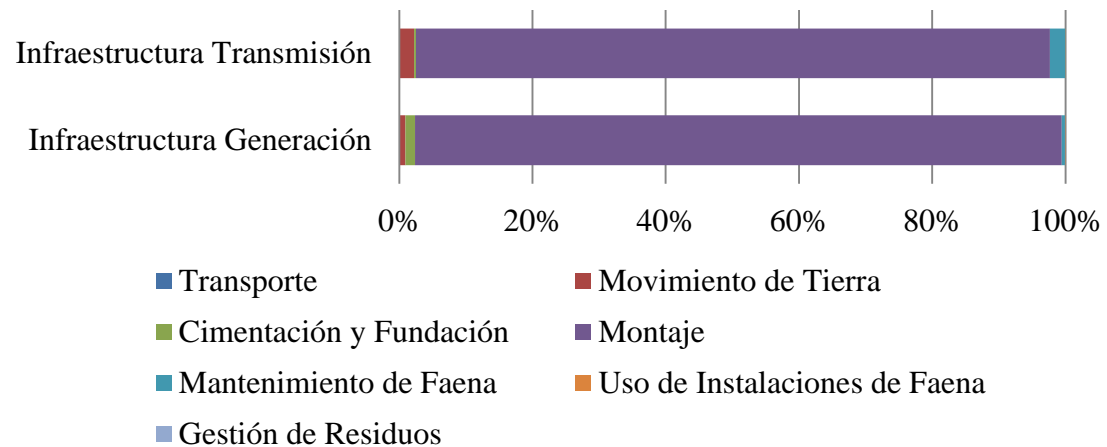


Figura 8. Distribución porcentual de consumo de agua por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Consumo de Combustibles Fósiles: De acuerdo a la Figura 9, al comparar las unidades funcionales de ambos sistemas, la construcción de la infraestructura de generación consume más de 10 veces el combustible requerido para la infraestructura de transmisión eléctrica. Los procesos unitarios con menor participación en esta categoría son ‘Uso de Instalaciones de Faena’ y ‘Gestión de Residuos’ (Cuadro 33). En ambos casos, el proceso ‘Montaje’ es el que utiliza mayor cantidad de combustible, seguido de ‘Cimentación y Fundación’ (Figura 10).

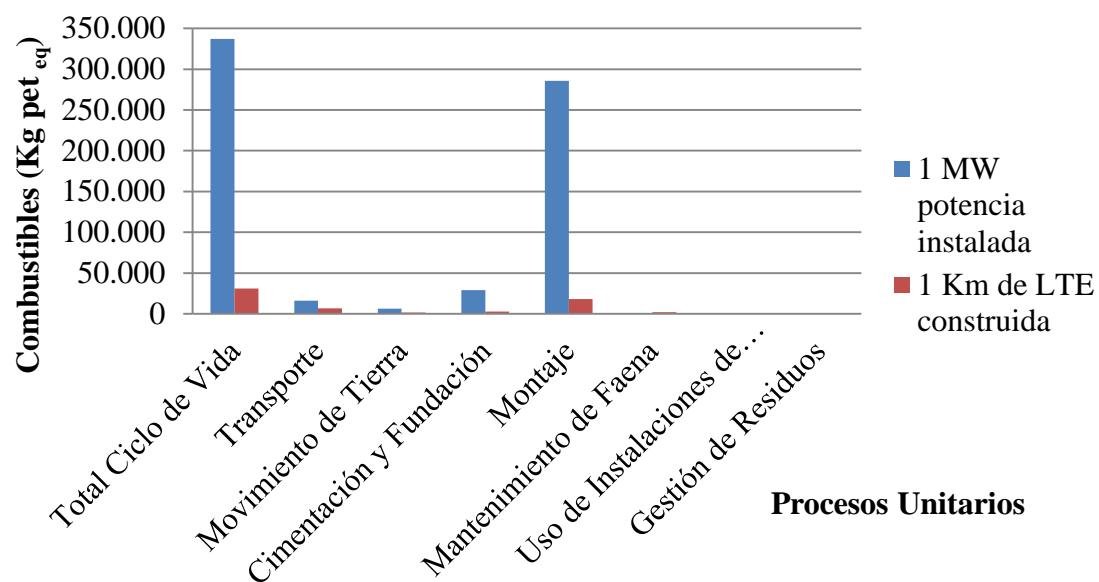


Figura 9. Consumo de combustibles fósiles por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Cuadro 33. Consumo de combustibles fósiles por proceso unitario.

Proceso unitario	1 MW potencia instalada		1 Km LTE construida	
	kg pet eq	%	kg pet eq	%
Transporte	15.878,67	5	6.592,91	21
Movimiento de Tierra	6.197,83	2	1.396,56	5
Cimentación y Fundación	29.114,20	8	2.605,51	8
Montaje	285.702,99	85	18.175,32	59
Mantenimiento de Faena	195,72	0	2.075,66	7
Uso de Instalaciones de Faena	273,57	0	0,01	0
Gestión de Residuos	44,50	0	10,82	0
Total Ciclo de Vida	337.407,48	100	30.856,79	100

Fuente: Elaboración propia.

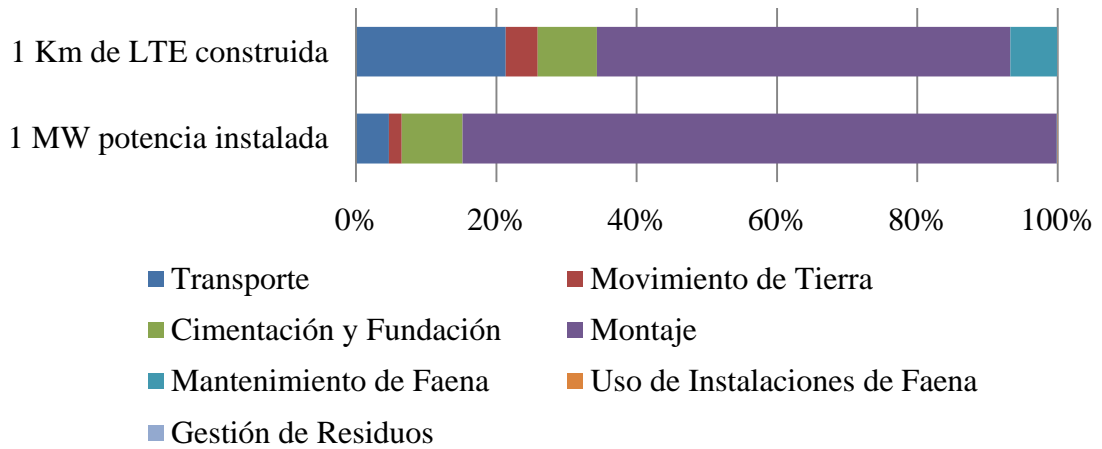


Figura 10. Distribución porcentual de consumo de combustibles fósiles por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Formación de Material Particulado: Como se muestra en la Figura 11, la construcción del sistema de generación eléctrica es la que favorece en mayor medida la formación de materia particulada, emitiendo más de 10 veces más lo que se emite durante construcción del sistema de transmisión, por unidad funcional. En ambos escenarios, el proceso unitario con mayor participación es ‘Montaje’ (Figura 12). Asimismo, en ambos sistemas estudiados, la participación de los procesos ‘Uso de Instalaciones de Faena’ y ‘Gestión de Residuos’ es despreciable (Cuadro 34).

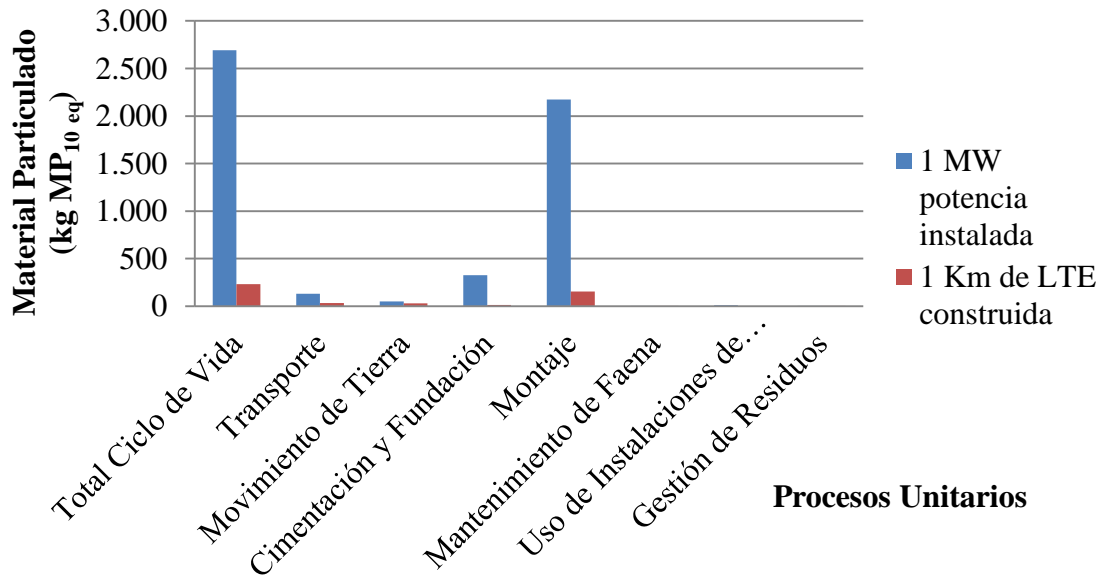


Figura 11. Emisiones totales de material marticulado por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

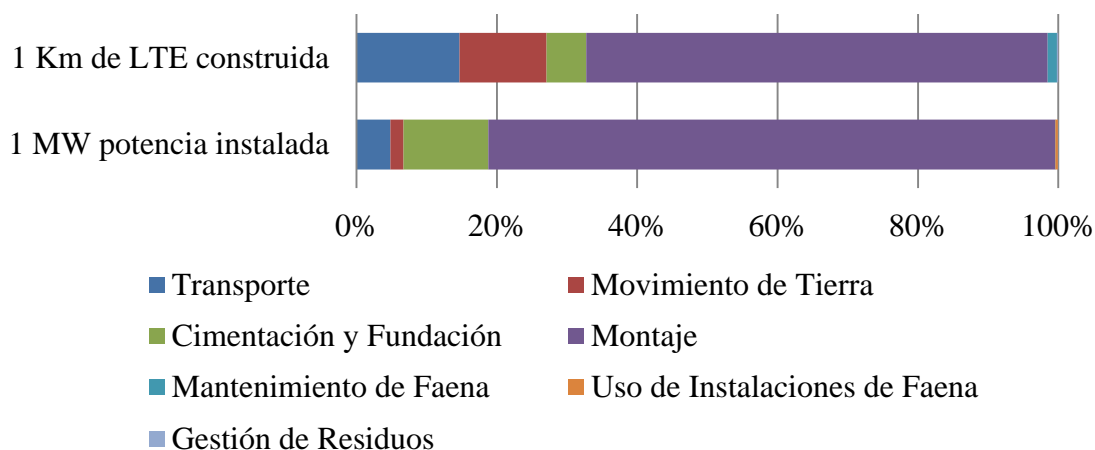


Figura 12. Distribución porcentual de emisiones de material particulado por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Cuadro 34. Emisiones totales de material particulado por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Proceso unitario	1 MW potencia instalada		1 Km LTE construida	
	kg MP10eq	%	kg MP10eq	%
Transporte	130,46	5	34,14	15
Movimiento de Tierra	49,46	2	28,76	12
Cimentación y Fundación	325,71	12	13,18	6
Montaje	2.174,24	81	152,83	66
Mantenimiento de Faena	0,54	0	3,07	1
Uso de Instalaciones de Faena	8,96	0	0,00	0
Gestión de Residuos	1,70	0	0,46	0
Total Ciclo de Vida	2.691,08	100	232,44	100

Fuente: Elaboración propia.

Deterioro de la Capa de Ozono: Respecto de esta última categoría de impacto, el sistema de generación es el mayor responsable de las emisiones de SAO, constituyendo el doble de emisiones al comparar sus unidades funcionales (Figura 13). En ambos sistemas el resto de los procesos unitarios en su conjunto representan menos del 1% de total de emisiones generadas durante la construcción del proyecto. Finalmente, cabe destacar que el proceso de ‘Uso de Instalaciones de Faena’ es el que presenta menor participación, tanto en el sistema de generación como el de transmisión (Cuadro 35), ya que las emisiones de este tipo de contaminantes se relacionan con actividades constructivas que no se realizan en este proceso. Asimismo, en ambos escenarios, los procesos unitarios con mayor participación de este tipo de emisiones son ‘Movimiento de Tierra’ y ‘Montaje’ (Figura 14).

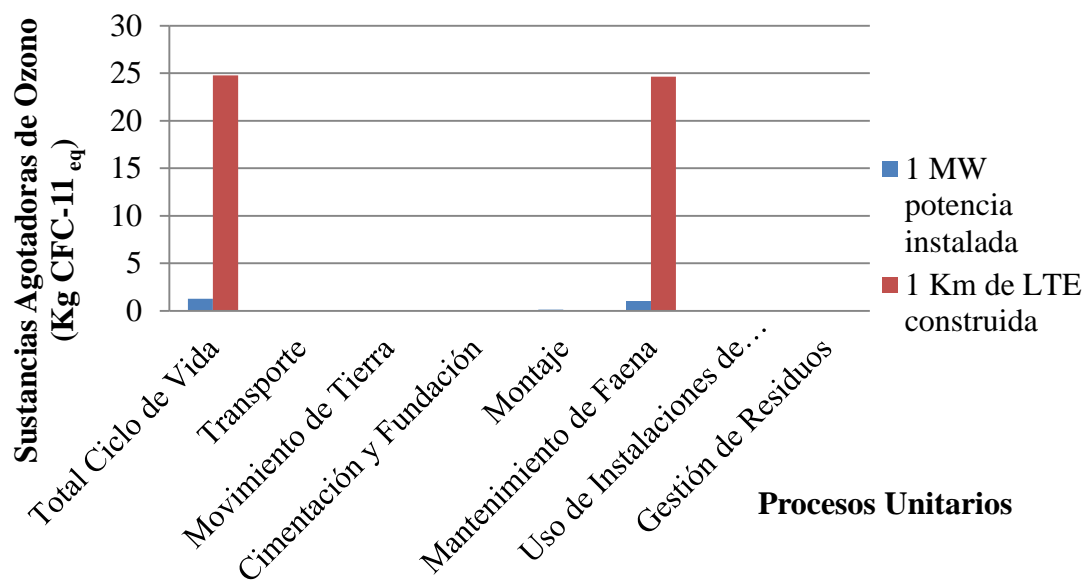


Figura 13. Emisiones totales de sustancias destructoras de la capa de ozono por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Cuadro 35. Emisiones totales de gases destructores de la capa de ozono por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Proceso unitario	1 MW potencia instalada		1 Km LTE construida	
	kg CFC-11 eq	%	kg CFC-11 eq	%
Transporte	0,00	0	0,00	0
Movimiento de Tierra	0,08	6	0,06	0
Cimentación y Fundación	0,00	0	0,00	0
Montaje	0,13	10	0,05	0
Mantenimiento de Faena	1,06	84	24,65	100
Uso de Instalaciones de Faena	0,00	0	0,00	0
Gestión de Residuos	0,00	0	0,00	0
Total Ciclo de Vida	1,26	100	24,75	100

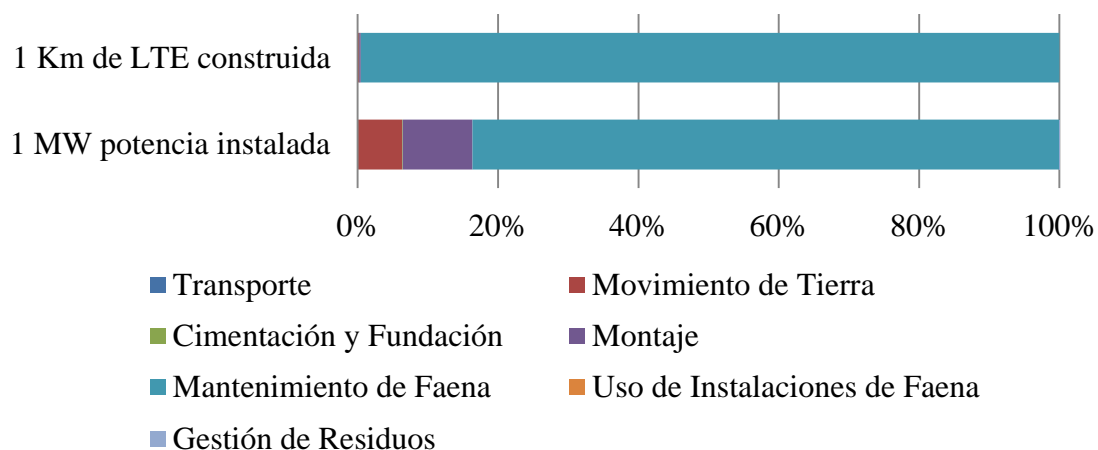


Figura 14. Distribución porcentual de emisiones de sustancias destructoras de la capa de ozono por Proceso Unitario y Unidad Funcional.

Interpretación

Resultados ponderados

Al ponderar los resultados utilizando los factores de Fundación Chile (IDIEM, 2012), para evaluar la importancia relativa de los impactos ambientales de acuerdo a su valor social (Apéndice 2), la categoría de impacto más significativa en ambos subsistemas analizados corresponde a Cambio Climático, con un 82% para la construcción de la infraestructura de generación y un 74% para la infraestructura de transmisión (Figura 15). Si se considera esta información para orientar las medidas de gestión ambiental de la empresa, sus acciones debieran concentrarse en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, optimizar el consumo de combustibles fósiles y de agua.

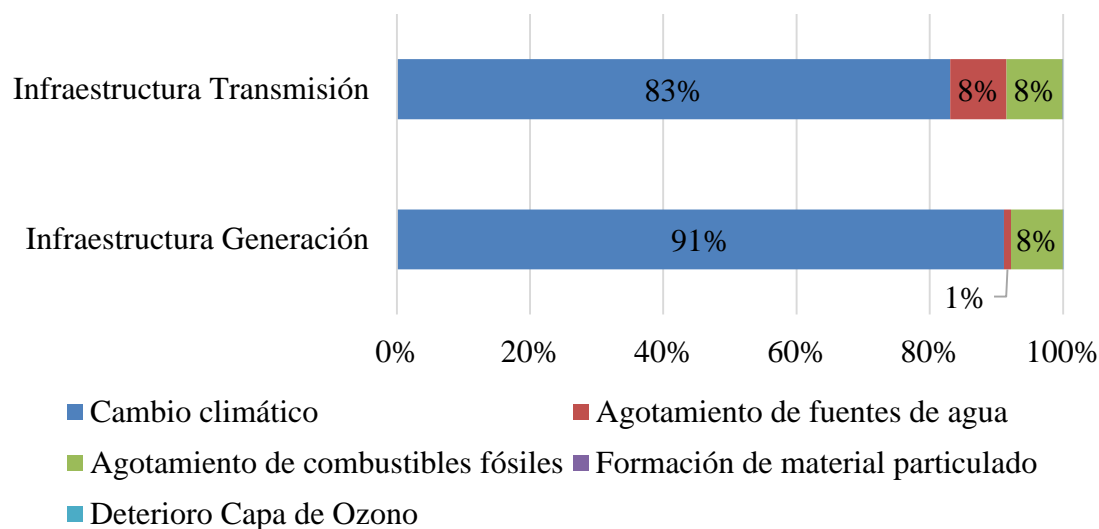


Figura 15. Impactos ambientales ponderados para cada sistema de estudio.

Análisis de puntos críticos

A continuación, se detallan los flujos principales de los procesos unitarios con mayor participación en cada una de las cinco categorías de impacto evaluadas. El detalle de los impactos totales de estos procesos unitarios se muestra en el Apéndice 6.

Infraestructura de generación eléctrica.

Cambio Climático: el 89% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero están relacionadas al proceso ‘Montaje’, un 7% a ‘Cimentación y Fundación’ y un 3% al ‘Transporte’ (Cuadro 36). Al analizar las entradas y salidas de estos procesos y su participación en las emisiones de GEI (Figura 16), es posible identificar como principal punto crítico la fabricación de los componentes de la Subestación Eléctrica del proceso ‘Montaje’ (85% del total de emisiones de Gases de Efecto Invernadero). Esto se debe a que los componentes principales de los transformadores eléctricos son aleaciones metálicas (Muro y Fernández, 2013), cuya extracción y manufactura produce altas emisiones de GEI (ELCD, 2012).

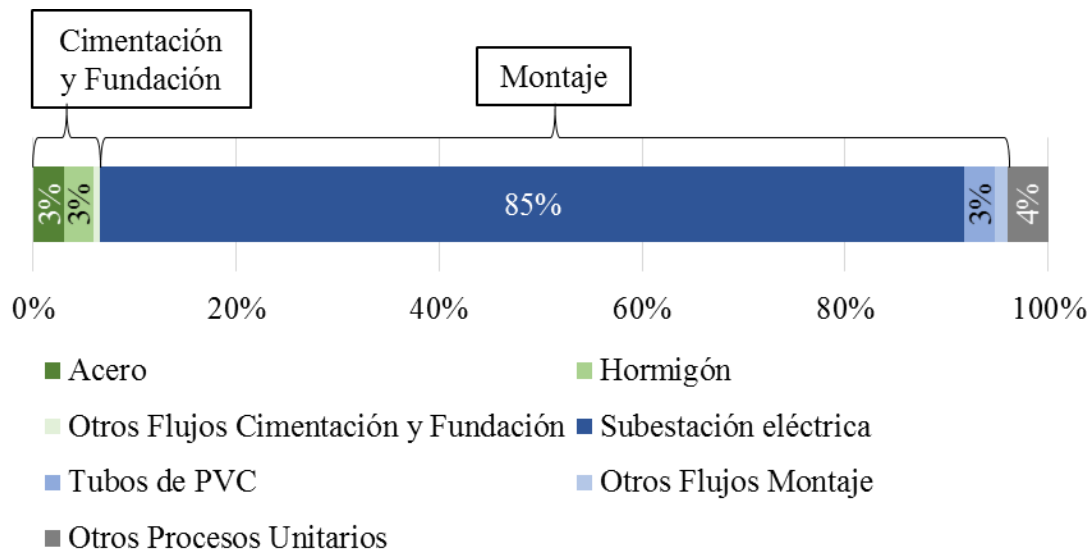


Figura 16. Análisis de puntos críticos de la categoría Cambio Climático - Infraestructura de generación.

Consumo de Agua: el 97% del consumo de recursos hídricos durante la construcción de la infraestructura de generación corresponde al proceso ‘Montaje’, seguido de ‘Cimentación y Fundación’ con un 1% y ‘Movimiento de Tierra’ con 1% (Cuadro 36). Al evaluar el consumo de agua de las entradas y salidas de los procesos indicados, es posible identificar como principal punto crítico la fabricación de los componentes de la Subestación eléctrica del proceso ‘Montaje’ (Figura 17). Tal como ocurre en la categoría anterior, la dominancia de la subestación se explica por su composición en base a aleaciones metálicas (Muro y Fernández, 2013), cuya producción consume grandes volúmenes de agua (ELCD, 2012).

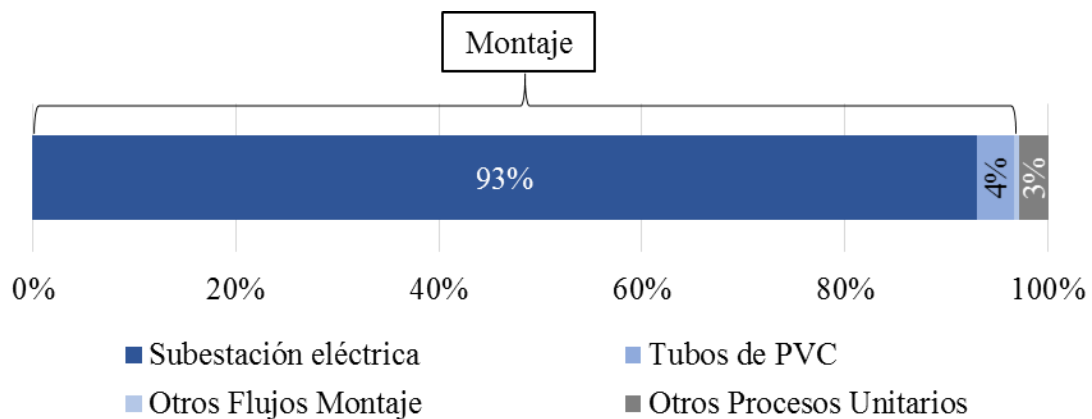


Figura 17. Análisis de puntos críticos de la categoría Consumo de Agua - Infraestructura de generación.

Consumo de Combustibles Fósiles: los principales procesos responsables del consumo de combustibles son ‘Montaje’ con un 85%, ‘Cimentación y Fundación’ con 9% del consumo y ‘Transporte’ con un 5% de participación en esta categoría de impacto (Cuadro 36). Tras analizar los flujos de estos procesos, nuevamente la Subestación eléctrica es la que tiene asociado un mayor impacto, con un 76% de participación, seguido de las tuberías de PVC con un 6% y el diésel utilizado para alimentar las faenas de ‘Cimentación y Fundación’, con un 4% (Figura 18). El consumo de combustibles fósiles para la fabricación de los componentes de la subestación se explica por los costos energéticos asociados a la obtención de cobre, aluminio y polímeros que componen los transformadores eléctricos (Muro y Fernández, 2013).

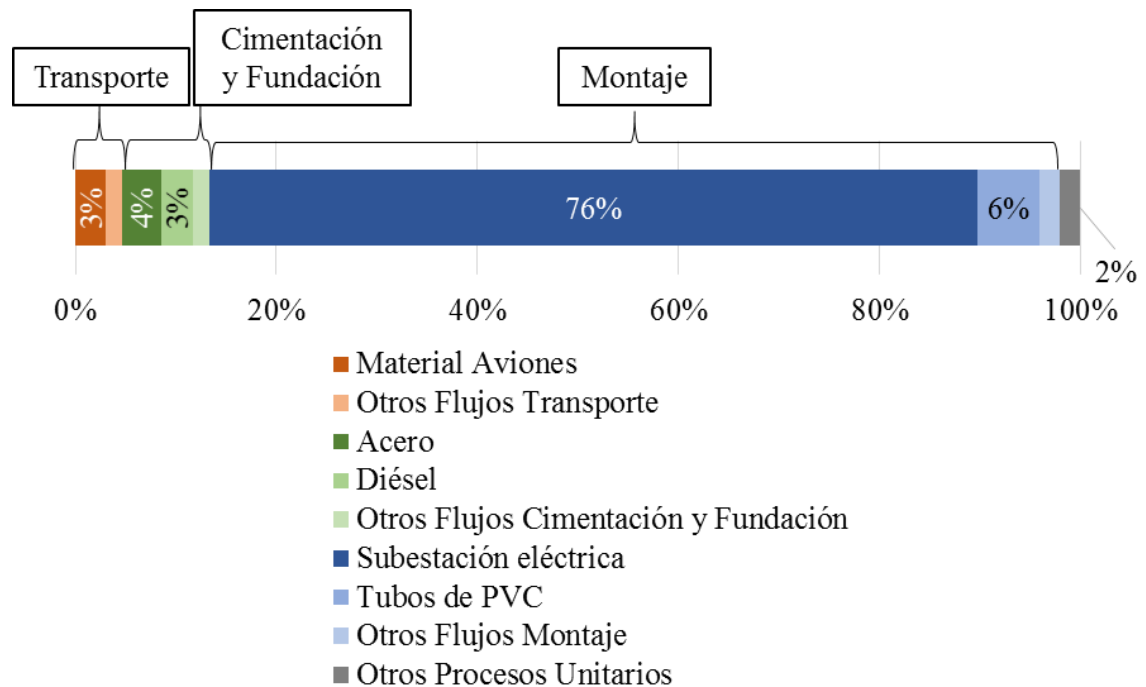


Figura 18. Análisis de puntos críticos de la categoría Consumo de Combustibles Fósiles - Infraestructura de generación.

Formación de Material Particulado: al igual que en la categoría anterior, los procesos unitarios con mayor participación en la generación de emisiones con PFMP son ‘Montaje’, ‘Cimentación y Fundación’ y ‘Transporte’ (Cuadro 36). Mediante la revisión de las entradas y salidas de los procesos mencionados, los flujos con mayor responsabilidad en esta categoría corresponden a la subestación eléctrica (63%), seguido del transporte terrestre de materiales (18%) y el acero utilizado en los cimientos de los aerogeneradores (7%) (Figura 19). Las emisiones asociadas a la subestación eléctrica se explican la presencia de acero en su composición (Muro y Fernández, 2013).

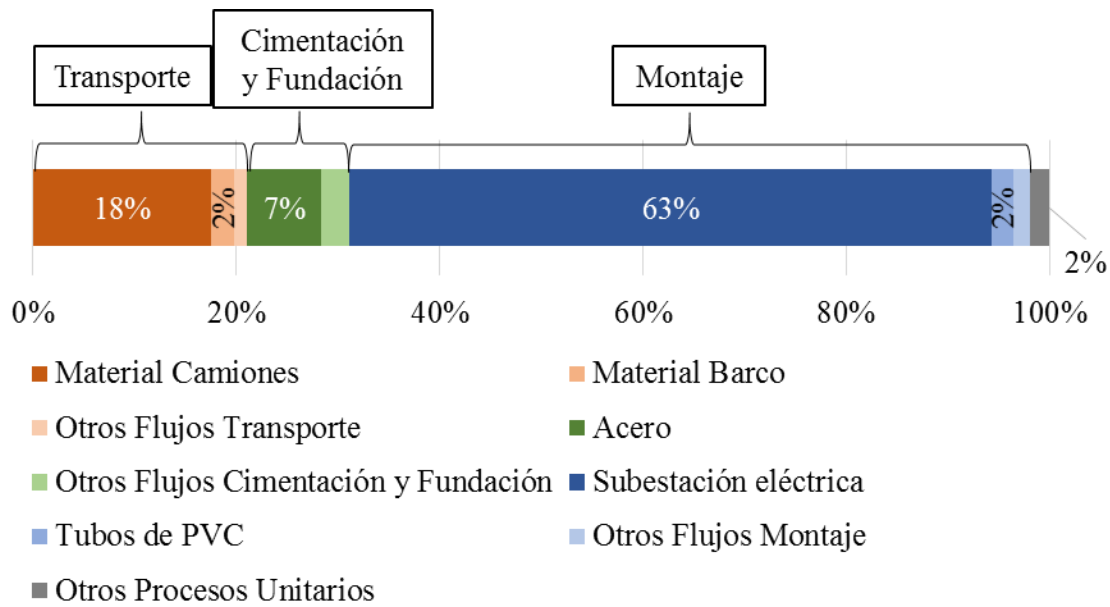


Figura 19. Análisis de puntos críticos de la categoría Formación de Material Particulado - Infraestructura de generación.

Deterioro de la Capa de Ozono: en esta última categoría, los procesos unitarios con mayor participación en las emisiones de SAO son ‘Mantenimiento de Faena’ con un 84% de participación, ‘Montaje’ con un 10% y ‘Movimiento de Tierra’ con un 6% (Cuadro 36). Al desglosar los niveles de impacto de las entradas y salidas evaluadas en estos procesos, se identifica como punto crítico principal el consumo de aceites y lubricantes durante el ‘Mantenimiento de Faena’ (84%), seguido de las emisiones de la maquinaria de ‘Montaje’ y ‘Movimiento de Tierra’ (6%) (Figura 20).

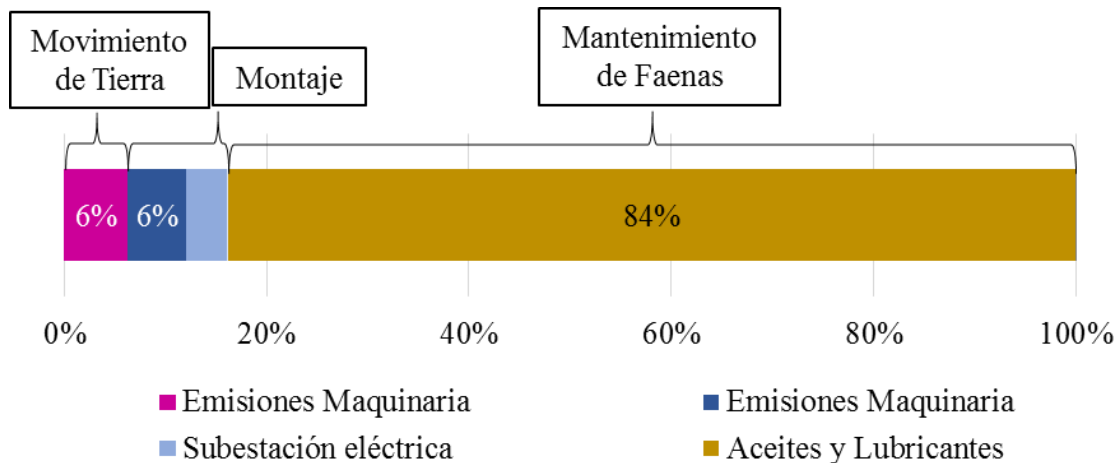


Figura 20. Análisis de puntos críticos de la categoría Daño a la Capa de Ozono - Infraestructura de generación.

Cuadro 36. Análisis de dominancia para Infraestructura de generación eléctrica.

Proceso Unitario / Categoría de impacto	Cambio Climático	Consumo de Agua	Consumo de Combustibles Fósiles	Formación de Material Particulado	Deterioro de la capa de Ozono
	%	%	%	%	%
Transporte	3	0	5	5	0
Movimiento de tierra	0	1	2	2	6
Cimentación y Fundación	7	1	9	12	0
Montaje	89	97	85	81	10
Uso de instalaciones de faena	1	0	0	0	0
Mantenimiento de faena	0	0	0	0	84
Gestión de Residuos	0	0	0	0	0

Infraestructura de transmisión eléctrica.

Cambio Climático: como se indica en el Cuadro 37, el 72% de las emisiones de GEI están relacionadas al proceso ‘Montaje’ un 16% a ‘Transporte’ y un 7% a ‘Cimentación y Fundación’. Al evaluar las entradas y salidas de estos procesos y su participación en las emisiones de GEI (Figura 21), es posible identificar como principal punto crítico la fabricación de las torres de alta tensión del proceso ‘Montaje’. Estas torres son construidas a partir de acero y zinc (Wang, 2011) cuya extracción y manufactura emite altas concentraciones de gases de efecto invernadero (ELCD, 2012).

Consumo de Agua: al evaluar la participación de los procesos unitarios de la infraestructura de transmisión eléctrica en esta categoría, el 95% del consumo de agua corresponde al proceso ‘Montaje’, seguido de ‘Movimiento de Tierra’ y ‘Mantenimiento de Faena’ con un 2% cada uno (Cuadro 37). Al evaluar el consumo de agua de las entradas y salidas de ‘Montaje’, es posible identificar como principal punto crítico la fabricación de las torres de alta tensión (Figura 22). Al igual como ocurre en la categoría anterior, la dominancia de estas estructuras se explica por la presencia de zinc en su composición (Wang, 2011), ya que su obtención requiere grandes volúmenes de agua (ELCD, 2012).

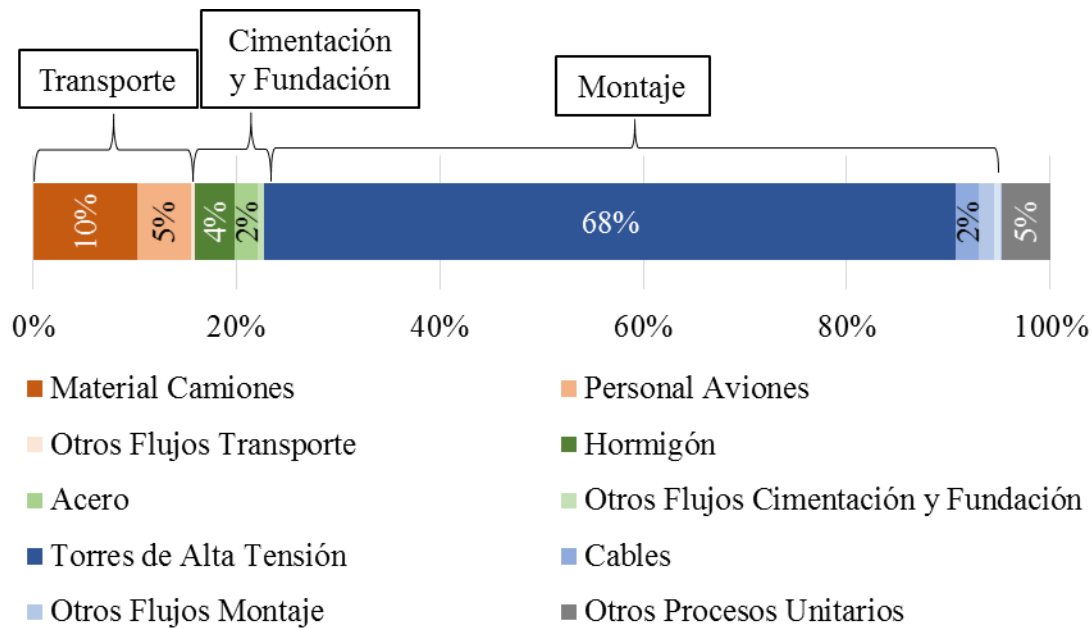


Figura 21. Análisis de puntos críticos de la categoría Cambio Climático - Infraestructura de transmisión.

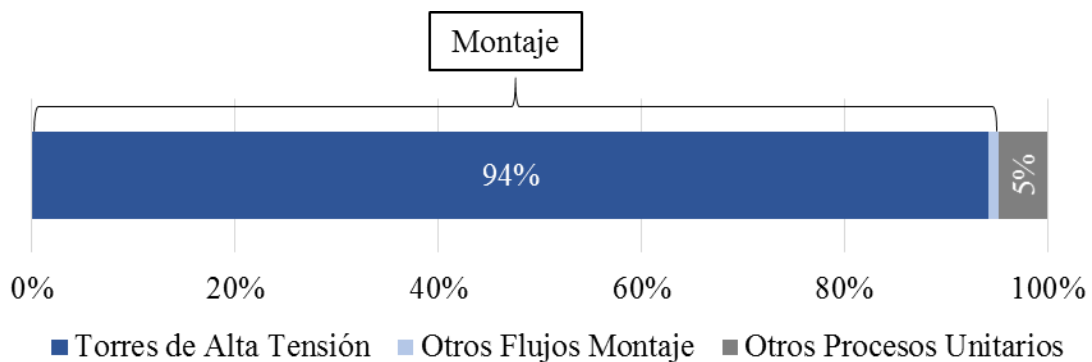


Figura 22. Análisis de puntos críticos de la categoría Consumo de Agua - Infraestructura de transmisión.

Consumo de Combustibles Fósiles: los principales procesos responsables del consumo de combustibles son 'Montaje' con un 59% y 'Transporte' con un 21% de participación en esta categoría de impacto (Cuadro 37). Tras analizar los flujos de estos procesos, las torres de alta tensión tienen la mayor participación en el consumo de combustible con un 49%, seguido del transporte terrestre de materiales (14%) (Figura 23). El agotamiento de combustibles fósiles para la fabricación de las torres de la línea de transmisión se explica por los costos energéticos asociados a la obtención de acero y zinc que las componen (Wang, 2011).

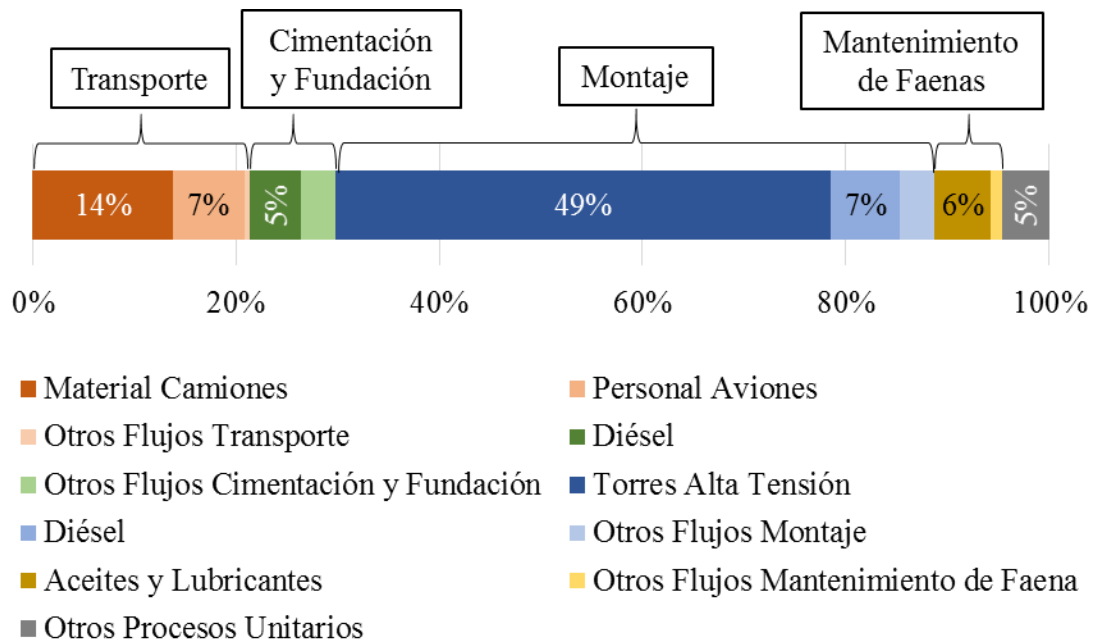


Figura 23. Análisis de puntos críticos de la categoría Consumo de Combustibles Fósiles - Infraestructura de transmisión.

Formación de Material Particulado: los procesos unitarios con mayor participación en la generación de emisiones con PFMP son ‘Montaje’ (66%), ‘Transporte’ (15%) y ‘Movimiento de Tierra’ (12%) (Cuadro 37). Mediante la revisión de las entradas y salidas de estos procesos, los flujos con mayor responsabilidad en esta categoría corresponden a las torres de alta tensión (55%), seguido de las emisiones de la maquinaria utilizada en el proceso ‘Movimiento de Tierra’ (11%), el transporte terrestre de materiales (11%) y las emisiones de la maquinaria de ‘Montaje’ (7%) (Figura 24).

Deterioro de la Capa de Ozono: en esta categoría, el único proceso unitario con participación significativa en las emisiones de sustancias agotadoras de ozono es ‘Mantenimiento de Faena’ (Cuadro 37). Al desglosar los niveles de impacto de las entradas y salidas evaluadas en este proceso, se identifica como punto crítico principal los aceites y lubricantes aplicados en la maquinaria (100%). Estos resultados se explican por las emisiones asociadas a la fabricación de estas sustancias peligrosas (ELCD, 2012).

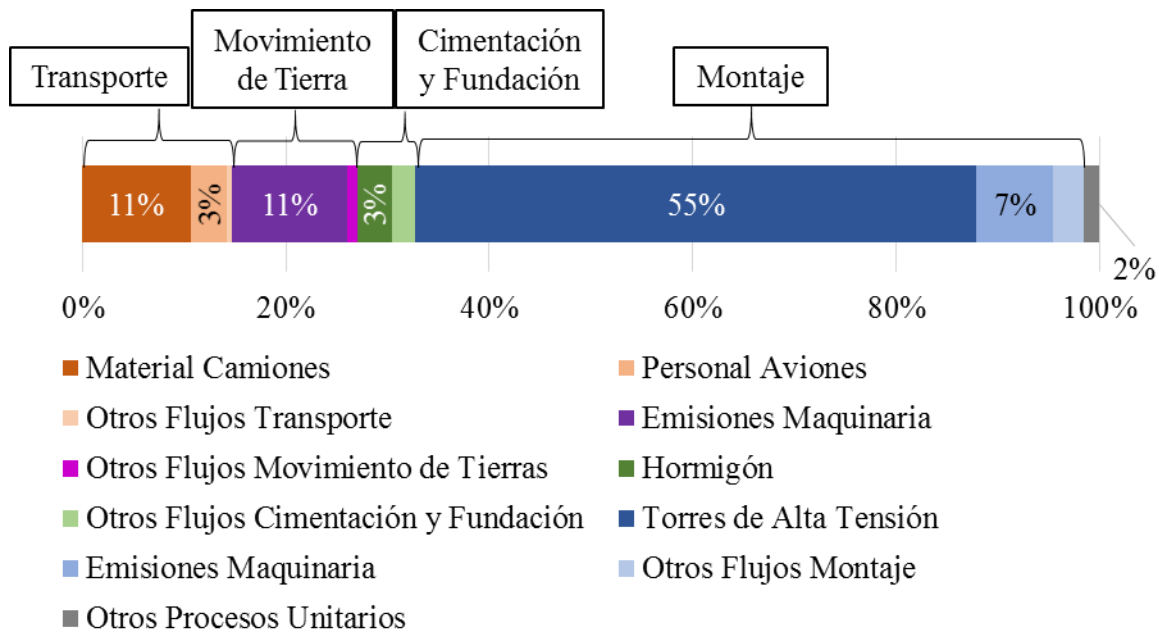


Figura 24. Análisis de puntos críticos de la categoría Formación de Material Particulado - Infraestructura de transmisión.

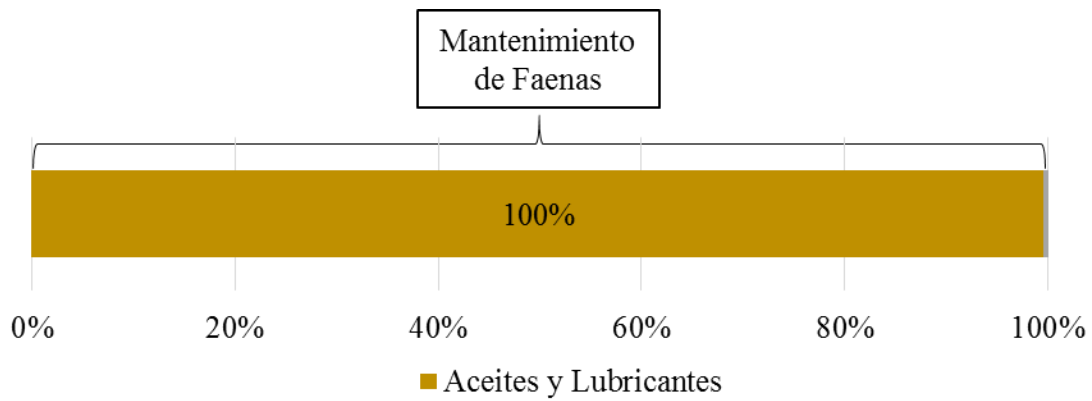


Figura 25. Análisis de puntos críticos de Infraestructura de transmisión – Deterioro de la Capa de ozono.

Cuadro 37. Análisis de dominancia de Infraestructura de transmisión eléctrica.

Proceso Unitario / Categoría de impacto	Cambio Climático	Consumo de Agua	Consumo de Combustibles Fósiles	Formación de Material Particulado	Deterioro de la capa de Ozono
	%	%	%	%	%
Transporte	16	0	21	15	0
Movimiento de Tierra	2	2	5	12	0
Cimentación y Fundación	7	1	8	6	0
Montaje	72	95	59	66	0
Uso de instalaciones de faena	0	0	0	0	0
Mantenimiento de faena	3	2	7	1	100
Gestión de Residuos	0	0	0	0	0

Clasificación de Flujos del Sistema y Alternativas de Gestión Ambiental

Como complemento a la Gestión Ambiental del proyecto, se han clasificado los flujos del sistema en dos categorías. La primera, definida como flujos del sistema de *Gestión Exante*, agrupa aquellos insumos descritos en las especificaciones técnicas del proyecto, y por tanto corresponde a gestión realizada previo al inicio de la fase de construcción (Tabla 38). Por otro lado, la segunda categoría definida como los flujos del sistema de *Gestión Exdure*, corresponde al conjunto de flujos cuyo consumo y manejo puede ser intervenido durante la fase de construcción del proyecto.

Cuadro 38. Flujos del sistema de Gestión *Exante*.

Proceso Unitario	Flujo (Entrada o Salida)	Requerimiento
Cimentación y Fundación	Acero	Fundaciones Aerogeneradores Fundaciones LTE Cimientos subestación eléctrica
	Hormigón	Fundaciones Aerogeneradores Fundaciones LTE Cimientos subestación eléctrica
Montaje	Áridos	Zanja media tensión Parque eólico
	Cables	Transmisión energía aerogeneradores
	Fibra óptica	Transmisión energía aerogeneradores
	Tubos PVC	Zanja media tensión Parque eólico

Continúa.

Proceso Unitario	Flujo (Entrada o Salida)	Requerimiento
Montaje	Aerogeneradores	Potencia instalada
	Subestación eléctrica	Potencia instalada
	Torres de Alta tensión	LTE construida
Mantenimiento de Faena	Aceites y lubricantes	Mantenimiento maquinaria

Proporción de impactos tras la clasificación. Los resultados que se presentan a continuación corresponden a la estimación de los impactos ambientales por unidad funcional, en relación con la gestión de sus flujos.

Al analizar la relación existente entre los flujos de gestión *ex ante* y *exdure*, es posible establecer que los impactos de gestión previa a la construcción del proyecto para la infraestructura de generación eléctrica corresponden aproximadamente al 90% de los impactos totales en cuatro de las cinco categorías evaluadas en este estudio (Figuras 26), mientras que para la infraestructura de transmisión, las gestiones anteriores representan entre un 60% y un 95% (Figura 27).

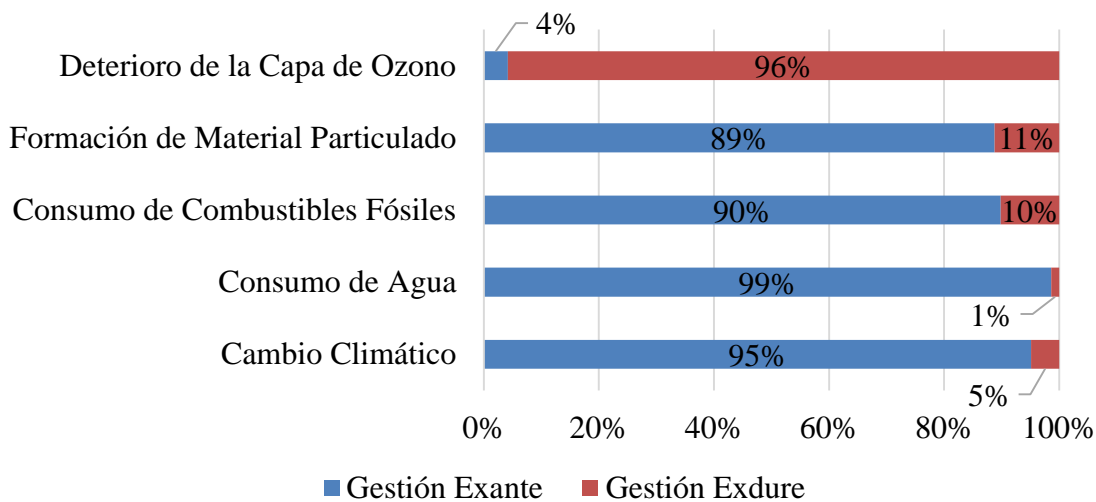


Figura 26. Proporción de impactos de gestión *ex ante* y *exdure* – Infraestructura de generación eléctrica.

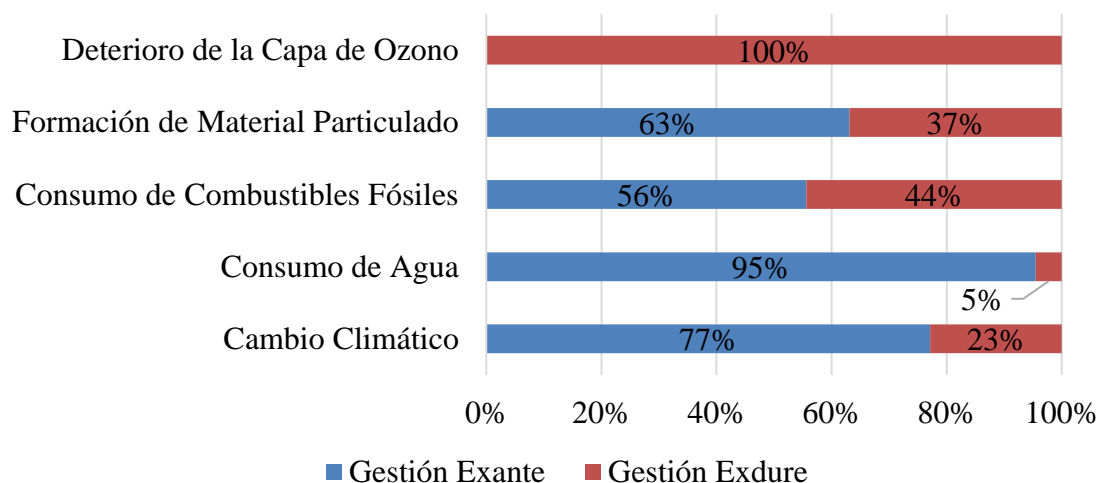


Figura 27. Proporción de impactos de gestión *ex ante* y *ex dure* – Infraestructura de transmisión eléctrica.

Alternativas de gestión ambiental. Tras la obtención de las categorías de impacto ambiental con mayor significancia y los principales elementos que contribuyen a estos impactos (Cuadro 39), se han propuesto las siguientes medidas de gestión que permitirían abordar estos aspectos para mejorar el desempeño ambiental en futuros proyectos de EGP.

Cuadro 39. Síntesis de puntos críticos de los sistemas de estudio.

Categoría de Impacto	Proceso unitario crítico	Flujos críticos del sistema
Cambio Climático	Montaje	Componente subestación eléctrica Torres alta tensión Tubos de PVC
	Cimentación y Fundación	Acero Hormigón
Agotamiento de Combustibles Fósiles	Transporte	Transporte de Material Terrestre
	Montaje	Componente subestación eléctrica Torres alta tensión Tubos de PVC Diésel
	Cimentación y Fundación	Acero Hormigón
	Transporte	Transporte de Material Terrestre

Continúa.

Categoría de Impacto	Proceso unitario crítico	Flujos críticos del sistema
Agotamiento de Agua	Montaje	Componente subestación eléctrica Torres alta tensión Tubos de PVC

Flujos críticos de gestión ex ante:

- Componentes de subestación eléctrica: los ACV en sistemas de transmisión eléctrica han concluido que los transformadores de las subestaciones son los principales responsables de los impactos ligados a cambio climático, daño a la capa de ozono, consumo de combustibles fósiles y ecotoxicidad terrestre (Santos, 2013). En este sentido, las alternativas de reducción están orientadas al ecodiseño de las subestaciones eléctricas, minimizando las emisiones de SF₆ durante la fabricación de sus transformadores y la reducción en el consumo de materiales de sus componentes eléctricos, principalmente cobre y aluminio (Wang *et al.*, 2012).
- Torres de alta tensión: los materiales que componen las torres de alta tensión, correspondientes principalmente a metales generan impactos ambientales relacionados con el cambio climático y el consumo de recursos hídricos. En este sentido, las medidas de minimización de impacto deben orientarse a la reducción del consumo de estos insumos, prefiriendo el uso de materiales reciclados (Wang, 2011). También es importante considerar el diseño de la línea de transmisión, ya que una menor extensión no solo reduce el consumo de materiales, sino que también la pérdida de energía durante la fase de operación del proyecto (Wang, 2011; Santos, 2013).
- Tubos de PVC: de acuerdo a Muro y Fernández (2013), el consumo de polímeros para el cableado interno de los parques eólicos es en promedio, de 1,5 toneladas por MW de potencia instalada. Una alternativa de gestión asociada a este material es la utilización de plásticos reciclados, ya que permite la reducción del consumo de combustibles fósiles, las emisiones de GEI y la generación de residuos que se disponen (Hopewell *et al.*, 2009).
- Acero: la principal alternativa de gestión es la utilización de acero reciclado como insumo para la construcción, pues con esto se reduce el consumo de materias primas y energía para la fabricación de estructuras de acero, las principales fuentes de costo de esta industria (Janke *et al.*, 2000).
- Hormigón: las investigaciones respecto al uso de materiales alternativos para la reducción del consumo de áridos naturales y cemento en la fabricación de hormigón han demostrado que una de las alternativas es la utilización de desechos agrícolas, como el sílice extraído de la cáscara de arroz, que permite reducir el consumo de cemento en un 10% (Giannotti *et al.*, 2008). Por otro lado, la reutilización de

hormigón y la utilización de áridos reciclados reducen el consumo de áridos naturales, pero aumentan hasta 7 veces el consumo de agua (Aguilar *et al.*, 2005), por lo que no es una alternativa viable para estos casos.

Flujos críticos de gestión exdure:

- Transporte de Material Terrestre: la optimización del flujo vehicular para acortar las distancias recorridas y la preferencia de proveedores cercanos a la faena de construcción, reduciendo así las distancias de traslado permitiría disminuir los impactos ambientales asociados al Cambio Climático (Kojima y Ryan, 2010) y el Consumo de Combustibles Fósiles.
- Diésel: Respecto del consumo de combustible de los generadores que alimentan las faenas de ‘Montaje’, se propone la utilización de equipos que utilicen combustibles alternativos con un menor impacto en esta categoría como gas natural o su sustitución con sistemas que incluyan el aprovechamiento de energías renovables (Goedkoop *et al.*, 2013).
- Otras medidas adicionales: una medida recomendada para reducir el consumo de agua en las faenas constructivas es la reutilización de las aguas grises generadas, lo que requeriría la instalación de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) en el sitio. Si una PTAS con un rendimiento del 95% hubiese tratado el total de las aguas servidas generadas en el proceso de Uso de Instalaciones de Faena (Cuadro 27), se habrían recuperado 974 m³ que podrían utilizarse como agua industrial para el proceso de ‘Mantenimiento de Faenas’ (Humectación de Caminos) o para estabilizar el terreno en el proceso de Movimiento de Tierra (Compactación de suelo). Si este método se utiliza para recuperar el agua utilizada para el lavado de los equipos utilizados (Cuadro 26), podrían reutilizarse otros 97 m³.

DISCUSIÓN

Alcance

De acuerdo a la Regla de Categoría de Producto (PCR por su sigla en inglés) *PCR 2007:08 CPC 171 & 173: Electricity, Steam, and Hot and Cold Water Generation and Distribution* (EPD, 2015), que define la infraestructura de un parque eólico que debe ser considerada en un ACV, los límites de este tipo de sistemas incluyen:

- Aerogeneradores, sus cimientos y fundaciones
- Red de alimentación interna del parque
- Subestación de transformación eléctrica del parque
- Conexión al sistema de transmisión eléctrica, la subestación y el sistema de cables
- Instalaciones para el manejo de desechos, residuos y aguas residuales

Al comparar los procesos unitarios definidos para este estudio y los declarados en la PCR (Cuadro 40) se detectan diferencias en la división de las actividades contenidas en cada proceso (obras temporales y permanentes). Sin embargo, los límites de este ACV logran abarcar todos los procesos definidos en la PCR.

Cuadro 40. Comparación entre Procesos Unitarios de los sistemas de estudio, obras de construcción del proyecto y requerimientos de PCR.

Procesos Unitarios PRC	Procesos Unitarios	Obras temporales	Obras permanentes
Cimientos y Fundaciones de Aerogeneradores	Movimiento de Tierra Cimentación y Fundación	Área de disposición de excedentes de excavación Planta de Hormigón	Caminos internos Caminos de acceso para la LTE Fundaciones de los aerogeneradores
Aerogeneradores SE transformación eléctrica Conexión al sistema de transmisión eléctrica, la subestación y el sistema de cables	Montaje	Área de acopio temporal de Aerogeneradores	Aerogeneradores Plataformas de montaje Canalización subterránea en media tensión SE elevadora e instalaciones de operación Línea de Transmisión Eléctrica Paño de Interconexión

Instalaciones para el manejo de desechos, residuos y aguas residuales	Gestión de Residuos	Instalaciones de faena	-
-	Mantenimiento de Faena	-	Caminos internos Caminos de acceso LTE
-	Uso de Instalaciones de Faena	Instalaciones de faena Frentes de trabajo	-
-	Transporte	-	-

Fuente: Elaboración propia, a partir de Geobiota (2013) y EPD (2015).

Categorías de impacto

Se han desarrollado ACV de parques eólicos que incluyen todas las categorías de impacto definidas por ReCiPe Midpoint (H), como el de los aerogeneradores Gamesa (Muro y Fernández, 2013), pero las categorías mayormente estudiadas son Cambio Climático, Demanda Acumulada de Energía y Acidificación (Cuadro 41).

Cuadro 41. Resumen de categorías de impacto ambiental utilizadas en Análisis de Ciclo de Vida de proyectos eólicos.

Categoría de Impacto	Inclusión en estudios de ACV N°
Demanda Acumulada de Energía	27
Cambio Climático	25
Acidificación	14
Oxidación Fotoquímica	11
Eutroficación	11
Toxicidad Humana	9
Ecotoxicidad	9
Generación de Residuos	8
Agotamiento de Ozono Estratosférico	7
Consumo de Recursos Abióticos	5
Formación de Material Particulado	5
Uso / Transformación de Suelo	5
Total estudios evaluados	39

Fuente: Elaboración propia, a partir de Arvesen y Hertwich (2012).

En este estudio, las cinco categorías utilizadas: Cambio Climático, Consumo de Agua, Consumo de Combustibles Fósiles, Formación de Material Particulado y Deterioro de Capa

de Ozono, se definieron en reuniones de trabajo con colaboradores del área de Sostenibilidad de la empresa tras la revisión de los principales impactos definidos en la DIA del proyecto. Por lo tanto, las categorías empleadas no responden necesariamente a las tendencias internacionales, habiendo coincidencia solo en dos de los cinco indicadores.

Ponderación y evaluación

Existen múltiples métodos de ponderación de resultados permiten expresar fácilmente la importancia relativa y magnitud de los resultados obtenidos durante la Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida (Stranddorf *et al.*, 2005). Estos son construidos de acuerdo a la realidad del entorno que se aplica el ACV y son clave para mejorar el desempeño ambiental de las empresas (Aymard y Botta-Genoulaz, 2016). En el Cuadro 42 se muestran los ponderadores de cuatro métodos diferentes, ajustados para las categorías del estudio, junto con el de Fundación Chile, utilizado en este análisis.

Cuadro 42. Factores de ponderación de categorías de impacto de cinco métodos internacionales, adaptados a las categorías del estudio.

Categoría de impacto	Método de ponderación de resultados				
	Global	EU -15	Lo-Re LCA	EPA	Fundación Chile
	%	%	%	%	%
Cambio Climático	20	30	47	46	30
Consumo de Agua	0	0	26	9	33
Consumo de Combustibles Fósiles	0	0	7	14	12
Formación de Material Particulado	0	0	0	17	9
Deterioro de la Capa de Ozono	80	70	20	14	15

Fuente: Elaboración propia, a partir de IDIEM (2012), Budavari *et al.* (2011), Huppés y van Oers (2011) y Stranddorf *et al.* (2005).

Al comparar los resultados obtenidos con estos métodos de ponderación, tanto para el sistema de generación y de transmisión (figuras 28 y 29), la categoría de impacto más relevante es el Cambio Climático. Al comparar los resultados con los obtenidos con el método de Fundación Chile, los métodos Global y de la Unión Europea no recogen los impactos asociados al consumo de agua y combustibles fósiles.

Considerando las características particulares del sitio de emplazamiento del proyecto, pues Sierra Gorda es zona de escasez hídrica y saturada por material particulado (Geobiota, 2013), el método de Fundación Chile es el que le brinda mayor importancia relativa al Consumo de Agua y por tanto, su ponderación permite evaluar los impactos del sistema con mayor representatividad del sitio del proyecto.

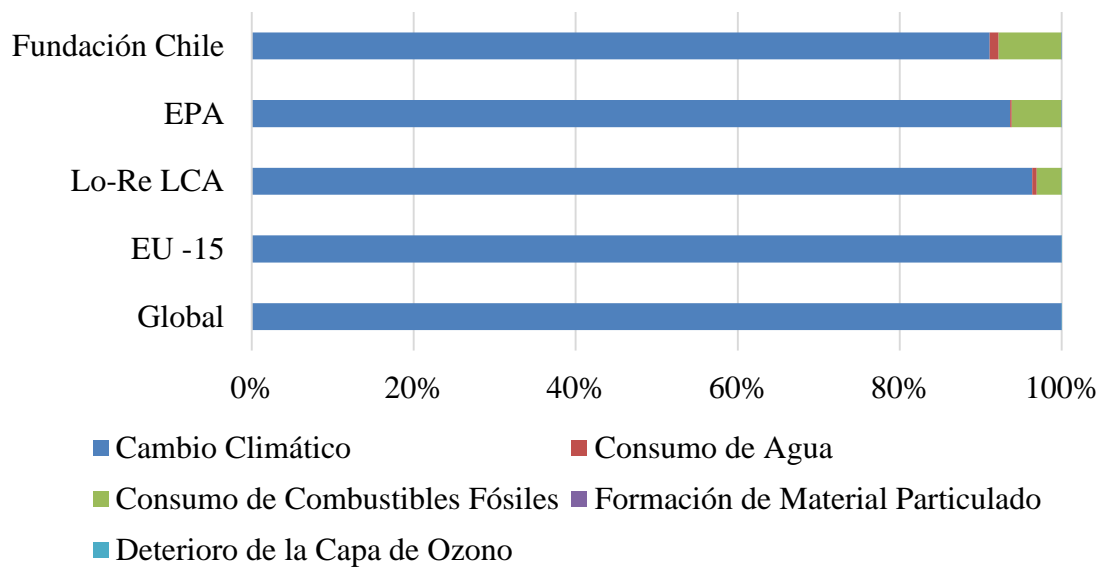


Figura 28. Impactos ambientales ponderados bajo cinco métodos internacionales de ponderación – Infraestructura de generación.

Fuente: Elaboración propia, a partir de IDIEM (2012), Budavari *et al.* (2011), Huppés y van Oers (2011) y Stranddorf *et al.* (2005).

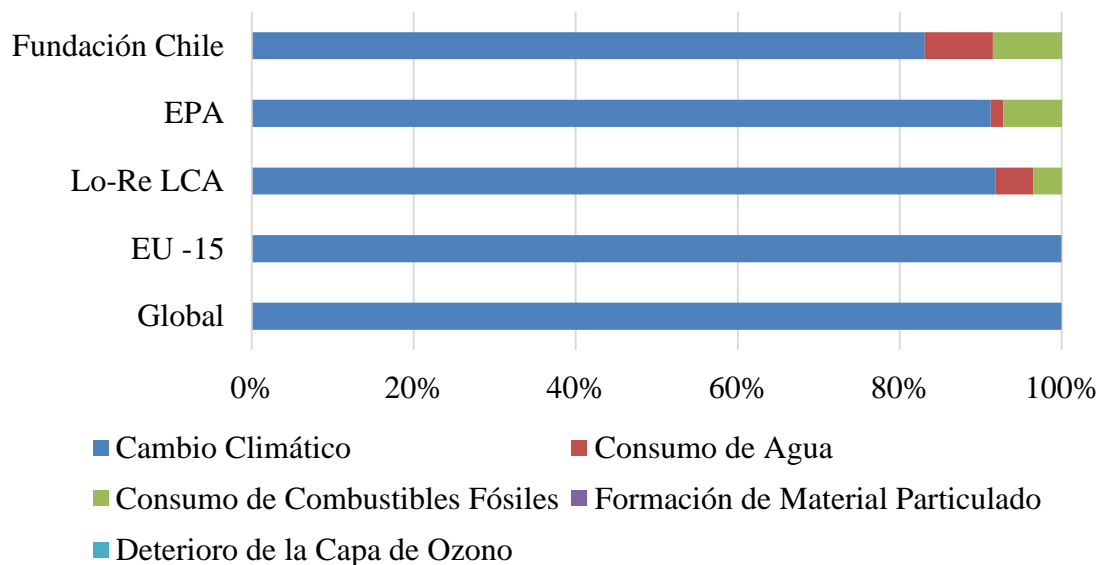


Figura 29. Impactos ambientales ponderados bajo cinco métodos internacionales de ponderación – Infraestructura de transmisión.

Fuente: Elaboración propia, a partir de IDIEM (2012), Budavari *et al.* (2011), Huppés y van Oers (2011) y Stranddorf *et al.* (2005).

Unidad Funcional y comparación de resultados

Distintos proyectos de generación eólica que han sido estudiados utilizando la herramienta de ACV, tienen como unidad funcional la energía generada por el parque durante su vida útil (Haapala y Prempreeda, 2014), lo que puede generar problemas para comparar resultados si es que no queda claramente definido el punto en que se mide esta energía o si no se consideran las pérdidas de energía durante su transmisión y distribución hasta el usuario final (Kim y Holme, 2015). Reconociendo la variabilidad entre los subsistemas que componen un Parque Eólico (generación y transmisión) es que en este estudio se definieron ACV complementarios con sus respectivas unidades funcionales.

En este sentido, es necesario realizar algunas adaptaciones a la información de referencia para poder comparar resultados. En primer lugar, y en términos del alcance del estudio, la comparación se centra en los procesos unitarios que incluyen las actividades consideradas en este estudio, que corresponden a la Producción y el Ensamblaje de los parques eólicos. Por otro lado, considerando las limitaciones señaladas respecto de las unidades funcionales, se estos procesos solo pueden compararse en términos porcentuales. Al comparar el desempeño ambiental para las tres categorías de impacto más significativas de este estudio, para tres marcas de aerogeneradores, es posible señalar que todos presentan un comportamiento similar en cuanto a una mayor participación de la producción de la infraestructura de generación respecto de su instalación (figuras 30 - 32).

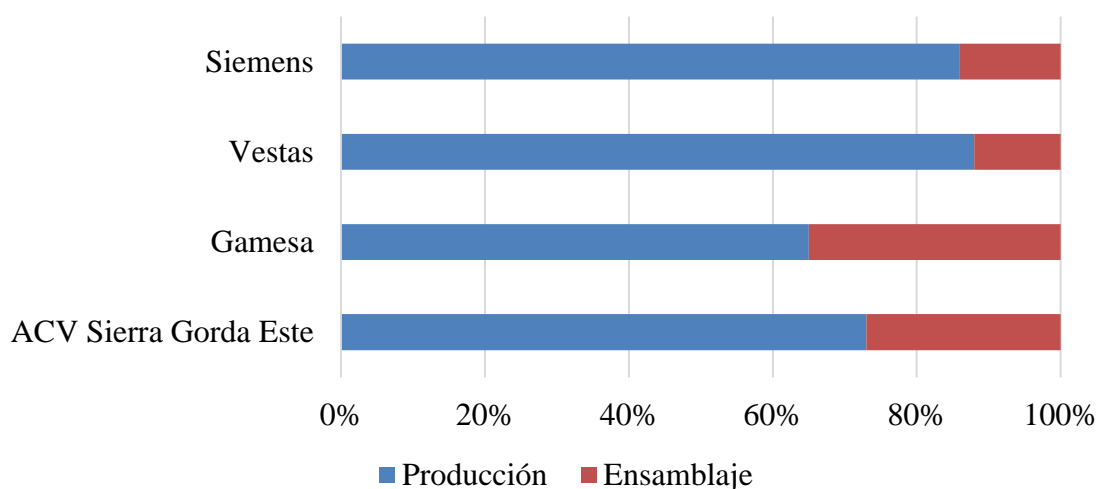


Figura 30. Comparación porcentual de Producción y Ensamblaje de Parques Eólicos para la categoría de impacto Cambio Climático.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Muro y Fernández (2013), Razdan y Garret (2015) y Siemens AG, 2014.

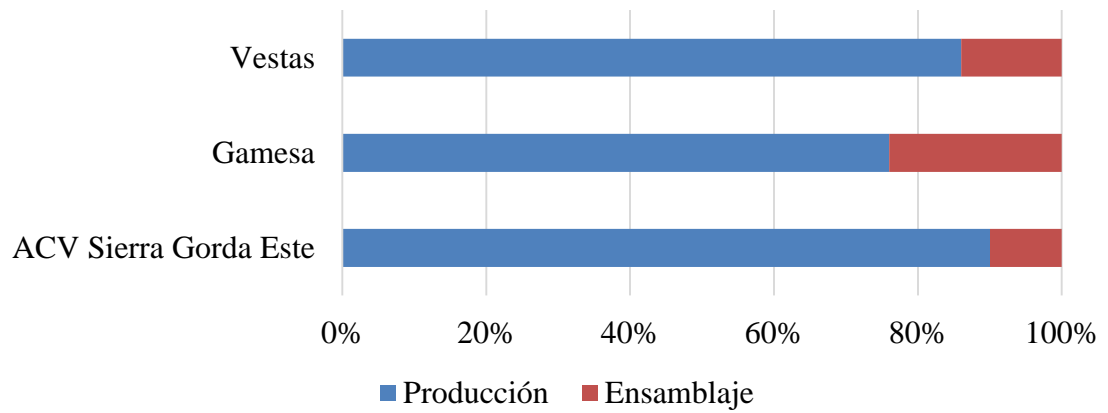


Figura 31. Comparación porcentual de Producción y Ensamblaje de Parques Eólicos para la categoría de impacto Consumo de Agua.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Muro y Fernández (2013) y Razdan y Garret (2015).

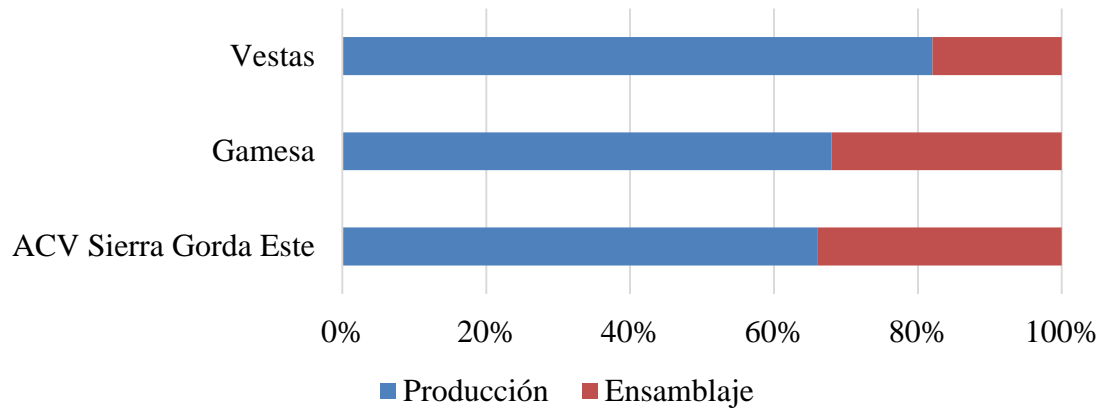


Figura 32. Comparación porcentual de Producción y Ensamblaje de Parques Eólicos para la categoría de impacto Consumo de Agua.

Fuente: Elaboración propia, a partir de Muro y Fernández (2013) y Razdan y Garret (2015).

CONCLUSIONES

El análisis realizado ha permitido estimar en forma cuantitativa los impactos ambientales de la construcción del Parque Eólico Sierra Gorda Este y su Línea de Transmisión Eléctrica, pues se han obtenido indicadores de impacto para las cinco categorías evaluadas: Cambio Climático (kg CO_{2eq}), Consumo de Agua (m³ agua), Consumo de Combustibles Fósiles (kg petróleo_{eq}), Formación de Material Particulado (kg MP10_{eq}), y Deterioro de Capa de Ozono (kg CFC-11_{eq}), y para ambos sistemas que componen el estudio: infraestructura de generación e infraestructura de transmisión eléctrica.

En relación con los objetivos específicos planteados para este ACV, la cuantificación de estos impactos permite caracterizar el desempeño ambiental del proyecto, ya que fue posible asignar de forma específica los impactos ambientales para cada actividad, insumo, residuo y emisión considerados en el alcance del estudio. Por otro lado, la metodología empleada permitió identificar los puntos críticos, tanto a nivel de Procesos Unitarios como de flujos específicos. Esta información es clave para orientar la gestión ambiental de futuros proyectos hacia medidas costoeficientes, que apunten a una reducción significativa de los impactos ambientales. Adicionalmente, con la utilización de unidades funcionales diferenciadas para la infraestructura de generación y transmisión se han obtenido indicadores que pueden ser comparados con futuros proyectos de EGP, incluso si se utilizan tecnologías de generación diferentes a la eólica, lo que permitiría evaluar el desempeño ambiental de la compañía en el largo plazo.

En términos de la información entregada por la empresa que solicitó el estudio, durante el análisis de las fuentes primarias se detectaron distintas inconsistencias en los procedimientos de recolección de datos, entre las que destacan las unidades de medida utilizadas, el responsable de la recolección de registro y las pocas instancias de control de la información recopilada en terreno. La identificación de estas falencias y restricciones en el sistema de información ambiental de la empresa, obligaron a unificar las unidades de medida en los registros existentes, implementar nuevos sistemas de registros o estimar emisiones a partir de información bibliográfica. La intervención en los procedimientos de registro de datos y el control de los mismos se tradujo en una mejora del sistema de gestión ambiental implementado en el proyecto, apuntando a que la réplica del ACV en futuros proyectos de EGP utilice datos de mejor calidad, priorizando la información primaria.

Respecto de la certificación de los resultados, la utilización de dos unidades funcionales tal como se presentan en este documento, no permiten dar cumplimiento a los requerimientos de la norma ISO 14.040, pues las unidades funcionales deben trabajarse de forma individual. Sin embargo, los procedimientos utilizados permitieron obtener la información basal para redactar en un futuro los informes de ACV que cumplan con los requerimientos de la norma.

En términos metodológicos, y aun cuando los límites espaciales y de infraestructura del sistema analizado dan cumplimiento a los requerimientos mínimos de la Regla de Categoría de Producto para proyectos eólicos, el alcance utilizado en este ACV no permite comparar los resultados con otros estudios realizados con esta tecnología. En primer lugar, las unidades funcionales utilizadas no consideran la generación eléctrica, por lo que no es posible comparar el desempeño durante la operación del proyecto. Por otro lado, las categorías, estas no corresponden necesariamente a las tendencias internacionales de los ACV eólicos, pudiendo comparar sólo el desempeño en términos del Cambio Climático y la Formación de Material Particulado. En cuanto a los resultados, las categorías de impacto más significativas en ambos sistemas corresponden a Cambio Climático, Consumo de Combustibles Fósiles y Consumo de Agua. Pese a que el procedimiento de ponderación utilizó factores definidos para la realidad chilena, no representan necesariamente la importancia social de las categorías de impacto en contextos locales. Esto es clave considerando las condiciones particulares del sitio de emplazamiento del proyecto, caracterizado por la escasez hídrica y saturación por material particulado, por lo que debieran emplearse métodos específicos de ponderación que le brinden una importancia relativa mayor a estas categorías de impacto.

Por otro lado, los resultados totales muestran que para ambos sistemas analizados, los principales impactos ambientales provienen de la fabricación de los insumos y equipos electromecánicos utilizados en los distintos procesos unitarios y no a las actividades constructivas en el sitio. Esto se debe a los impactos ambientales asociados a la extracción de las materias primas que los componen y los requerimientos energéticos para su manufactura. En este sentido, se vuelven particularmente relevante que las medidas de gestión se empleen durante la fase de diseño de los proyectos, priorizando proveedores con mejor desempeño ambiental y la elección de insumos reciclados que reduzcan el agotamiento de recursos.

Finalmente, con todo lo mencionado anteriormente, es posible concluir que la realización de este ACV es un insumo clave para el sistema de gestión ambiental de EGP, facilitando la mejora continua del desempeño ambiental de la empresa, fin último de la familia de normas ISO que amparan esta metodología.

BIBLIOGRAFÍA

Arvesen, A. and E. G. Hertwich. 2012. Assessing the life cycle environmental impacts of wind power: A review of present knowledge and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16(8): 5994-6006.

Astrup, A., Hoffman, L., Møller, B. y Schmidt, A. 1997. Life Cycle Assessment (LCA): A guide to approaches, experiences and information sources. (Bol. Tec. N°6). European Environmental Agency. Copenhagen, Dinamarca: EEA. 116 p.

Bjerke, I. 2014. Life Cycle Assessment of Electricity Transmission and Distribution. Master thesis of Energy and Process Engineering. Trondheim, Norway: Department of Energy and Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology. 98 p.

Budavari, Z., Szalay, Z., Brown, N., Malmqvist, T., Peuportier, B. *et al.* 2011. Indicators and weighting systems, including normalization of environmental profiles. EU – Research Directorate General. Oslo, Noruega: LoRe-LCA. 80 p.

Capacidad Instalada Generación. 2016. [En línea]. Santiago, Chile: Comisión Nacional de Energía. Recuperado en: <<http://www.cne.cl/estadisticas/electricidad/>>. Consultado el: 4 de mayo de 2016.

CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente). Chile. 2009. Guía Metodológica para la Estimación de Emisiones de Fuentes Fijas y Móviles en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Santiago, Chile: Departamento de Control de la Contaminación de CONAMA. 146 p.

Ekvall, T., Assefa, G., Björklund, A., Eriksson, O. y Finnveden, G. 2007. What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management. *Waste Management*. 27:989-996.

EGP (Enel Green Power). 2014. Especificación Técnica Fundaciones Aerogeneradores Parque Eólico Sierra Gorda Este. Engineering & Construction Civil Discipline EGP. Santiago, Chile. 21 p.

EGP (Enel Green Power). 2015 a. [En línea]. Rome, Italy: Enel Green Power. Recuperado en < <http://www.enelgreenpower.com/en-GB/company/worldwide/chile/>>. Consultado el: 4 de mayo de 2016.

EGP (Enel Green Power), 2015 b. Especificación Técnica de Obras Civiles Línea 1x220kV PE Sierra Gorda Este – Sierra Gorda (Doc. Téc.). Engineering & Construction Wind Design EGP. Santiago, Chile. 21 p.

EGP (Enel Green Power), 2015 c. Especificación Técnica de Estructuras Línea 1x220kV PE Sierra Gorda Este – Sierra Gorda (Doc. Téc.). Engineering & Construction Wind Design EGP. Santiago, Chile. 21 p.

ELCD (European Life Cycle Database), 2012. [en línea]. Unión Europea: Joint Research Centre. Recuperado en <<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/processList.xhtml>>. Consultado el: 12 de septiembre de 2016.

EPD (Environmental Product Declaration), Suecia. 2015. Product Group Classification: UN CPC 171 and 173 Electricity, Steam and Hot/Cold Water Generation and Distribution. EPD International. Estocolmo, Suecia. 50 p.

Fuentes, F. 2014. Análisis y Fundamentación del Modelo Marginalista de Precios Eléctricos en Chile. Santiago, Chile: Facultad de Economía y Negocios, Universidad Alberto Hurtado. 48.

GCE (Grupo Consultivo de Expertos sobre las Comunicaciones Nacionales de las Partes no incluidas en el Anexo I de la Convención), Estados Unidos. 2012. Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Sector de la Energía – Quema de Combustibles. Nueva York: CMNUCC. 43 p.

Geobiota. 2013. Declaración de Impacto Ambiental Proyecto Parque Eólico Sierra Gorda Este, Región de Antofagasta. Santiago, Chile: Centro de Ecología Aplicada. 116 p.

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J. y Van Zelm, R. 2013. ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level (Doc. Tec. N°1). Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Oslo, Noruega: RIVM. 132 p.

Haapala, K. y Prempreeda, P. 2014. Comparative life cycle assessment of 2.0 MW wind turbines. *International Journal of Sustainable Manufacturing*. 3(2):170 – 185.

Harris, N., Wuebbles, D., Daniel, J., Hu, J., Kuijpers, L. *et al.* 2014. Scenarios and information for policymakers (cap 5, pp 324-385). En: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014, Global Ozone Research and Monitoring Project. Report n°55. Genova, Switzerland: World Meteorological Organization. 416 p.

Herrán, C. 2012. El Cambio Climático y sus consecuencias para América Latina. Ciudad de México, México: Fundación Friedrich Ebert Stiftung (FES). 8 p.

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M. y Mekonnen, M. 2011. The Water Footprint Assessment Manual. London, United Kingdom: Water Footprint Network. 228 p.

Hopewell, J., Dvorak R. y Kosior, E. 2009. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 364: 2115–2126.

Hung, C. 2010. Environmental Impacts of Renewable Energy: An Overview of Life Cycle Results. [en línea]. Master in Industrial Ecology. Oslo, Noruega: Department of Energy and

Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology. 148 p. Recuperado en <<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:354351/fulltext01.pdf>>. Consultado el: 21 de mayo de 2016.

Huppes, G. y van Oers, L. 2011. Background Review of Existing Weighting Approaches in Life Cycle Impact Assessment (LCIA). (Doc. Téc.). European Commission, Joint Research Centre. Rome, Italy: Institute for Environment and Sustainability. 96 p.

IDIEM (Investigación, Desarrollo e Innovación de Estructuras y Materiales), Chile. 2015. Ecobase Construcción. Santiago, Chile: Fundación Chile. 102 p.

IHOBE, 2009. Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono: Dos maneras de medir el Impacto Ambiental de un Producto. 1° Edición. Bilbao, España: IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. 53 p.

Information, Systems, Logistics and Supply Chain (ILS). (6° Conferencia Internacional, Junio 1-4, Bordeaux, Francia). 2016. Normalization in Life Cycle Assessment: consequences of new European factors on decision making. Aymard, V. y Botta-Genoulaz, V. Bordeaux, Francia: Université de Bordeaux. 8 p.

INN (Instituto Nacional de Normalización), Chile. NCh-ISO 14.040. Of. 2012 a. Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Principios y estructura. Santiago, Chile: INN, 2012. 34 p.

INN (Instituto Nacional de Normalización), Chile. NCh-ISO 14.044. Of. 2012 b. Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida – Requisitos y Directrices. Santiago, Chile: INN, 2012. 64 p.

IRENA (International Renewable Energy Agency), Emiratos Árabes Unidos. 2015. Energías Renovables en América Latina 2015: Sumario de Políticas. IRENA. 28 p.

Janke, D., Savov, L., Weddige, H.J y Schulz, E. 2000. Scrap-based Steel Production and Recycling of Steel. *Materiali in Tehnologije*. 34 (6): 387-399.

Jiménez, O., Cantu, V. y Conde, A. 2006. Líneas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica. Nuevo León, México: Departamento de Iluminación y Alta Tensión, Universidad Autónoma de Nuevo León. 112 p.

JRC (Joint Research Centre), European Union. 2010. International Reference Life Cycle Data System handbook: Framework and requirements for Life Cycle Impact Assessment models and indicators. Ispra, Italia: European Union. 116 p.

Kim, H. y Holme, P. 2015. Network Theory Integrated Life Cycle Assessment for an Electric Power System. *Sustainability*. 7: 10961-10975.

Kojima, K. y Ryan, L. 2010. Transport Energy Efficiency: Implementation of IEA Recommendations since 2009 and next steps. Paris, Francia: International Energy Agency. 60 p.

- Kumar Rai, P., 2015. Multifaceted health impacts of Particulate Matter (PM) and its management: An overview. *Environmental Skeptics and Critics*. 4(1):1-26.
- Kverndokk, S., 1994. Depletion of Fossil Fuels and the Impact of Global Warming. Oslo, Norway: SSB Statistisk Sentralbyrå. 41 p.
- Lago, C., Prades, A., Lechón, Y., Oltra, C., Pullen, A. y Auer, H. 2009. Environmental Issues (cap. 5, 105 p). En: WindFacts, Wind Energy. The Facts. Bruselas, Bélgica: EWEA. 537 p.
- Loiseau, E. 2010. Environmental impacts evaluations methods of water use (Doc.Téc). ELSA Environmental Lifecycle & Sustainability Assessment. Montpellier, Francia. 18 p.
- Michalsky, W. 2015. Critiques of Life Cycle Assessment, Major Qualifying Project. Bachelor of Arts. Worcester, United States: Worcester Polytechnic Institute. 125 p.
- MMA (Ministerio del Medio Ambiente), Chile. 2011 a. Informe del Estado del Medio Ambiente 2011: Contaminación del Aire. Santiago, Chile: MMA. 68 p.
- MMA (Ministerio del Medio Ambiente), Chile. 2011 b. Informe del Estado del Medio Ambiente 2011: Agotamiento de la Capa de Ozono. Santiago, Chile: MMA. 18 p.
- Montalbo, T., Gregory, J. y Kirchain, R. 2011. Life Cycle Assessment of Hand Drying Systems. Massachusetts, United States: Materials Systems Laboratory, Massachusetts Institute of Technology. 113 p.
- Muro, J. y Fernández, J. 2013. Análisis de Ciclo de Vida de 1kWh generado por un Parque Eólico onshore Gamesa G90 2.0 Mw. Zamudio, España: Gamesa. 84 p.
- Piña, M. 2016. Análisis de impacto ambiental y opciones de mitigación para la industria vitivinícola, mediante un Análisis de Ciclo de Vida. Memoria Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 118 p.
- Rahman, S., Abd Rahim, N., Rafiqul Islam, M. y Solangi, K.H. 2011, enero. Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15: 2423 – 2430.
- Razdan, P. y Garret, P. 2015. Life Cycle Assessment of Electricity Production from an onshore V111-2.0 MW Wind Plant. Copenhagen, Denmark: Vestas Wind Systems A/S. 129 p.
- Sagardoy, I. 2012. Análisis de Ciclo de Vida Aerogenerador IVS 4500. Trabajo Final de Ingeniería Ambiental. San Carlos de Bariloche, Argentina: Pontificia Universidad Católica Argentina Santa María de los Buenos Aires. 70 p.
- Santos, R. 2013. Environmental consequences of electricity transmission and distribution – a life cycle perspective. Tesis para el grado de Doctor en Filosofía. Oslo, Noruega: Facultad de Ingeniería, Ciencia y Tecnología, Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología. 128 p.

SEA (Servicio de Evaluación Ambiental), Chile. 2012. Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental de la Fase de Construcción de Proyectos. Santiago, Chile: División de Evaluación Ambiental y Participación Ciudadana, SEA. 72 p.

Sefic, A. 2009, diciembre. Life Cycle Analysis: A Step by Step Approach (Bol. Tec. N°40). Illinois Sustainable Technology Center. Illinois, EEUU: University of Illinois. 27 p.

Seiffert, N. 2014. Análisis de Ciclo de Vida de la industria de detergente de lavado textil con estudio de caso empresa Envatec. Memoria Ingeniero Civil Industrial. Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 122 p.

SEREMI MMA RM (Secretaría Regional Ministerial de Ministerio del Medio Ambiente) Chile. 2012. Guía para la Estimación de Emisiones Atmosféricas de Proyectos Inmobiliarios para la Región Metropolitana. Santiago, Chile: Sección de Asuntos Atmosféricos MMA. 49 p.

SIEMENS. 2014. Environmental Production Declaration; A clean energy solution from cradle to grave- Offshore wind power plant employing SWT-6.0-154. Hamburg, Germany: Siemens AG. 16 p.

Stranddorf, H., Hoffman, L. y Schmidt, A. 2005. Impact categories, normalisation and weighting in LCA. (Bol. Téc N°78). Environmental Protection Agency. Copenhagen, Dinamarca: Danish Ministry of the Environment. 90 p.

UNEP (United Nations Environment Programme), Francia. 2011. Towards a Life Cycle Sustainability Assessment: Making informed choices on product. Paris: UNEP/SETAC. 86 p.

UNEP (United Nations Environment Programme), Alemania. 2016. Global Trends in Renewable Energy Investment 2016. Frankfurt: Frankfurt School of Finance & Management. 84 p.

Wang, W. 2011. Eco-design of power transmissions systems. Tesis Doctor en Ingeniería Eléctrica. Lyon, Francia: Escuela de Doctorado Electrónico y Eléctrico de Lyon, Escuela Central de Lyon. 307 p.

Wang, W., Beroual, A., Mehiri, T. y Tremouille, G. 2012. Life Cycle Assessment on a 765 kV AC transmission system. (Doc téc N° 208-2012). Conseil International des Grands Réseau Électriques. Paris, Francia. 14 p.

Zaldúa, N. 2012. Principales impactos del desarrollo eólico sobre la avifauna: Síntesis de la revisión de bibliografía internacional de referencia. Programa de Energía Eólica en Uruguay PNUD Uruguay. 38 p.

MATERIAL COMPLEMENTARIO

Apéndices

Apéndice 1: Factores de ponderación a unidades equivalentes para las categorías de impacto evaluadas

Cambio Climático.

Emisión	Ponderación a unidad equivalente	Emisión	Ponderación a unidad equivalente
Kg CO ₂		Kg CO ₂	
CO ₂	1	PFC's	7500 - 9160
C ₂ H ₆ O	1	Perfloruros	8830 - 9300
CH ₂ Br ₂	1,54	HCFC's	77 - 9810
HCC	8,7	PFC-318	10300
Hidrocarburos	10,6	HFC's	12 - 14800
Metanos	0,4 - 25	CFC's	1400 - 14400
CHCl ₃	31	HFE's	11 - 14900
NO ₂	298	NF ₃	17200
HCFE	350	CF ₃ SF ₅	17700
Halógenos	5,0 - 7140	SF ₆	22800

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Consumo de Agua.

Consumo	Ponderación a unidad equivalente (m ³)
m ³	
Agua para enfriamiento, origen natural	1

Continúa

Consumo	Ponderación a unidad equivalente (m ³)
	m ³
Agua vertida en lagos o ríos	1
Agua (sin especificar)	1
Agua, uso en turbinas, origen natural sin especificar	1
Agua, fuente subterránea	1

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Consumo de Combustibles Fósiles.

Consumo	Ponderación a unidad equivalente
	Kg pet _{eq}
Energía proveniente de carbón	5,44547E-07
Energía proveniente de gas natural	5,15761E-07
Energía proveniente de petróleo	5,44547E-07
Energía proveniente de madera	5,44547E-06
Energía proveniente de sulfuros	5,44547E-06
Carbón (diferentes rendimientos)	0.000181 - 0.0007
Gas natural (diferentes rendimientos)	0.000723 - 0.0111
Gases derivados petróleo	0.000836 - 0.0107
Petróleo (diferentes rendimientos)	0.000979 - 0.0104
CH4	0.0119

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Formación de Material Particulado.

Emisión	Ponderación a unidad equivalente	Emisión	Ponderación a unidad equivalente
	kg PM10 _{eq}		kg PM10 _{eq}
NM VOC	0	NO _x	0.22
SO	0.2	NH ₃	0.32
SO ₂	0.2	Partículas < 10 um (móvil y estacionario)	1

Continúa.

Emisión	Ponderación a unidad equivalente	Emisión	Ponderación a unidad equivalente
	kg PM10 _{eq}		kg PM10 _{eq}
SO _x	0.2	Partículas, < 2.5 um	1
NO ₂	0.22	Partículas, > 2.5 um y < 10um	1

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Deterioro de Capa de Ozono.

Emisión	Ponderación a unidad equivalente	Emisión	Ponderación a unidad equivalente
	Kg CFC - 11		Kg CFC - 11
Hidrocarburos	0.00617	C ₂ Cl ₃ F ₃	0.12
HCFC's	0.02 - 0.05	Halotano	0.14
CH ₃ Cl	0.02	CFC's	0.44 - 1
HCFC's	0.07 - 0.12	Halon's	0.25 - 12

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Apéndice 2: Factores de Ponderación de Impactos Ambientales

Factores de Ponderación Fundación Chile.

Categoría de impacto	Ponderador (%)
Cambio climático	15,50
Deterioro Capa de Ozono	7,80
Formación de smog fotoquímico	4,85
Formación de material particulado	4,85
Radiación ionizante	7,00
Acidificación terrestre	5,50
Eutroficación agua dulce	2,70
Eutroficación marina	2,70

Continúa.

Categoría de impacto	Ponderador (%)
Toxicidad humana, cáncer	3,23
Toxicidad humana, no cáncer	3,23
Exotoxicidad	3,23
Ocupación suelo agrícola	3,20
Ocupación suelo urbano	3,20
Transformación de suelos	3,20
Agotamiento de fuentes de agua	16,80
Agotamiento de minerales	6,70
Agotamiento de combustibles fósiles	6,30

Fuente: Elaboración propia, a partir de IDIEM (2012).

Factores adaptados a categorías de impacto en este estudio.

Categoría de impacto	Ponderador (%)
Cambio climático	30%
Deterioro Capa de Ozono	15%
Formación de material particulado	9%
Agotamiento de fuentes de agua	33%
Agotamiento de combustibles fósiles	12%

Apéndice 3: Sistemas de registros para ACV y procedimiento de cuantificación de entradas y salidas

La información presentada a continuación es de elaboración propia, a partir del sistema de registros ambientales de EGP utilizado en el proyecto.

Transporte.

Transporte Terrestre.

Transporte Terrestre Camiones							
Contratista – Empresa	Origen	Destino	Distancia (Km)	Ton Material	Ton Camión	Nº de Viajes	TKm

Transporte Terrestre Personal								
Tipo de Vehículo	Empresa	Origen	Destino	Distancia (Km)	Capacidad	Nº de Viajes	Ton persona	TKm

- Transporte terrestre camiones

$$Ton \times Km = \{[(Ton \text{ Material} + Ton \text{ Camión}) * Distancia (Km)] + [Ton \text{ Camión} * Distancia (Km)]\} * N^\circ \text{ de Viajes}$$

- Transporte terrestre personal

$$Ton \times Km = (Capacidad * Peso \times Persona (Ton)) * Distancia (Km) * N^\circ \text{ de Viajes}$$

Transporte Aéreo.

Transporte Aéreo Material							
Nombre Material	Empresa	Origen	Destino	Distancia (Km)	Nº de Viajes	Ton Material	TKm

Transporte Aéreo Personal							
ID Personal	Empresa	Origen	Destino	Distancia (Km)	Nº de Viajes	Peso persona (Ton)	TKm

- Transporte aéreo material

$$Ton \times Km = Ton \text{ Material} * Distancia (Km) * N^\circ \text{ de Viajes}$$

- Transporte aéreo personal

$$Ton \times Km = Peso \times Persona (Ton) * Distancia (Km) * N^\circ \text{ de Viajes}$$

Transporte Marítimo.

Transporte Marítimo Material							
Nombre Material	Contratista - Empresa	Origen	Destino	Distancia (Km)	Nº de Viajes	Ton Material	Ton x Km

- Transporte marítimo material

$$Ton \times Km = Ton \text{ Material} * Distancia (Km) * N^\circ \text{ de Viajes}$$

Movimiento de Tierra.

Agua Industrial.

Fecha	Contratista – Empresa	Procedencia	Tipo de Uso	Cantidad (m ³)
			Humectación / Compactación	

Áridos.

Fecha	Contratista – Empresa	Procedencia	Tipo de Uso	Consumo (Ton)
			Estabilizado	
			Arena – Grava	

Bischofita.

Fecha	Contratista – Empresa	Consumo (Ton)

Maquinaria.

Empresa	Mes	Tipo Maquinaria	Días de Funcionamiento al mes	Horas Máquina
		Compactadora / Rodillo		
		Bulldozer		
		Excavadora / Perforadora		

- Horas Máquina (HM) mensuales

$$HM = \text{Días de funcionamiento al mes} * 8 \text{ (horas)}$$

*Se asume que las máquinas están en funcionamiento durante toda la jornada laboral, es decir, 8 horas diarias.

Cimentación y Fundación.

Acero.

Fecha	Contratista	Consumo (Ton)

Generadores eléctricos.

Mes	Equipo	Consumo (L·día ⁻¹)	Días de funcionamiento al mes	Cantidad (L)

Hormigón.

Fecha	Contratista	Procedencia	Utilización	Consumo (Ton)
			Hormigón de Limpieza / Cimentaciones	
			Fundaciones para Torres LAT	

Montaje.

Áridos.

Fecha	Contratista	Procedencia	Tipo de Uso	Consumo (Ton)
			Arena	

Fibra óptica.

Fecha	Contratista	Consumo (Ton)

Cables.

Fecha	Contratista	Consumo (Ton)

Generadores eléctricos.

Mes	Equipo	Consumo (L·día ⁻¹)	Días de funcionamiento al mes	Cantidad (L)

Tubos de PVC.

Fecha	Contratista	Consumo (Ton)

Maquinaria.

Contratista	Mes	Tipo Maquinaria	Días de Funcionamiento al mes	Horas Máquina
		Grúa Torre		
		Grúa Móvil		

- Horas Máquina (HM) mensuales

$$HM = \text{Días de funcionamiento al mes} * 8 \text{ (horas)}$$

*Se asume que las máquinas están en funcionamiento durante toda la jornada laboral, es decir, 8 horas diarias.

Mantenimiento de Faena.

Aceites y lubricantes.

Fecha	Contratista	Consumo (Ton)	Tipo de Aceite o Lubricante

Agua Industrial.

Fecha	Contratista	Procedencia	Tipo de Uso	Cantidad (m ³)
			Humectación	
			Limpieza de componentes	

Uso de instalaciones de Faena.

Agua potable.

Fecha	Contratista	Tipo Envase	Consumo (m ³)
		Botellón	
		Botella	
		Granel	

Generadores eléctricos.

Mes	Equipo	Consumo (L·día ⁻¹)	Días de funcionamiento al mes	Cantidad (L)

Gestión de Residuos.

Lodos y Aguas Servidas.

Fecha	Contratista	Empresa que retira	Lugar de retiro	Cantidad (m ³)
			Baño Químico	
			PTAS*	
			Fosa Séptica	

*PTAS = Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

Residuos Industriales Peligrosos.

Fecha	Contratista	Tipo de Tratamiento	Cantidad (Ton)
		Depósito	
		Tratamiento Físico - Químico	
		Incineración	
		Vertido controlado	

Residuos Industriales No Peligrosos.

Fecha	Contratista	Tipo de Tratamiento	Cantidad (Ton)
		Depósito	
		Tratamiento Físico - Químico	
		Incineración	
		Recuperación y reutilización	
		Gestión de Escombros	

Residuos Domiciliarios.

Fecha	Contratista	Tipo de Tratamiento	Cantidad (Ton)
		Depósito	
		Tratamiento Físico - Químico	
		Transformación y compostaje	
		Recuperación y reutilización	

Apéndice 4: Procedimientos de cálculo de entradas y salidas a partir de información secundaria

Emisiones de maquinaria. De acuerdo a la Ecuación 1, se requieren los factores de emisión de cada maquinaria (Cuadro A) y los factores de conversión de esas emisiones a los factores de caracterización de cada categoría de impacto (Cuadro B). La suma ponderada de emisiones por su factor de conversión permite obtener los factores de caracterización de cada maquinaria utilizada (Cuadro C).

Cuadro A. Factores de emisión de maquinaria de construcción.

Maquinaria	Emisiones			
	CO	HC	NO _x	MP10
	Kg/hr	Kg/hr	Kg/hr	Kg/hr
Bulldozer	0,525	0,23625	2,513	0,1925
Retroexcavadora / perforadora	0,21808	0,09976	0,83288	0,07134
Compactadora / rodillo	0,291	0,13095	1,39292	0,1067
Grúa Torre	0,36432	0,16776	1,03392	0,10872
Grúa Móvil	0,3572	0,1634	1,3642	0,11685

Fuente: SEREMI MMA RM (2012); Geobiota (2013).

Cuadro B. Factores de conversión para construir factores de caracterización de emisiones de maquinaria.

Categoría de impacto	Emisiones			
	CO	HC	NO _x	MP10
	kg	kg	kg	kg
Cambio Climático	0	35,6	298	0
Consumo Combustibles Fósiles	0	0	0	0
Daño a la capa de ozono	0	0,00617	0	0
Formación de Material Particulado	0	0	0,22	1
Consumo de Agua	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Cuadro C. Factores de caracterización para maquinaria de construcción del proyecto.

Maquinaria	Categorías de impacto x HM				
	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
	kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Bulldozer	757,2845	0	0,00145766	0,74536	0
Retroexcavadora	251,749696	0	0,00061552	0,2545736	0
Compactadora	419,75198	0	0,00080796	0,4131424	0
Grúa Torre	314,080416	0	0,00103508	0,3361824	0
Grúa Móvil	412,34864	0	0,00100818	0,416974	0

Emisiones de equipos generadores. Al igual que en el caso anterior, a partir de los factores de emisión de los equipos (Cuadro D) y los factores de conversión de esas emisiones (Cuadro E), se obtienen los factores de caracterización requeridos (Cuadro F), en este caso, por cada litro de combustible (Apéndice.3).

Cuadro D. Factores de emisión de equipos generadores.

Contaminante	Factor de Emisión	Contaminante	Factor de Emisión
	kg/L Diesel		kg/L Diesel
MP	0,0070375	NH ₃	1,75E-04
MP ₁₀	0,003525	Benceno	2,00E-05
MP _{2,5}	0,00085	Tolueno	9,29E-06
CO	0,021625	PCDD/PCDF	2,65E-14
NO _x	0,100125	Hg	6,31E-08
VOC	0,00795	CO ₂	3,9
SO _x	0,0053125		

Fuente: Elaboración propia, a partir de CONAMA, 2009.

Cuadro E. Factores de conversión para construir factores de caracterización de emisiones de equipos generadores.

Categoría de Impacto / Emisiones (Kg)	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
	kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
MP10	0	0	0	0,22	0
MP 2,5	0	0	0	1	0
CO	0	0	0	0,2	0
NO _x	298	0	0	0,22	0
SO _x	0	0	0	0,2	0
NH ₃	0	0	0	0,32	0
CO ₂	1	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Cuadro F. Factores de caracterización para la maquinaria del proyecto.

Categoría de impacto	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
	kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Emisiones (kg /L Diesel)	33,73725	0	09	0,0290965	0

Componentes Subestación Eléctrica. La construcción de los factores de caracterización de sus componentes eléctricos (cimientos y otros materiales si tienen registro directo) corresponde a la suma de sus materiales (Cuadro G) por sus respectivos factores de caracterización (Cuadro H). La suma ponderada de cada material por su factor de caracterización permite obtener los factores de caracterización de la subestación (Cuadro I).

Cuadro G. Materiales que componen el sistema eléctrico de la subestación.

Subestación (datos extrapolados para cada 2 MW de potencia instalados en parque)			
Material	Transformador de Potencia	Transformadores Auxiliares	
	Kg	Kg	
Acero de baja aleación	1.471,42	35,76	
Cobre	370,07	0	
Aluminio	3,81	8,34	
Latón	1,68	0	
Polímeros	0	2,5	
Fibra de vidrio	18,93	0	
TOTAL (Kg)	1.865,91	46,6	

Fuente: Muro y Fernández (2013).

Cuadro H. Factores de caracterización de materiales que componen el sistema eléctrico de la subestación.

Material (1 Kg)	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
	kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Acero de baja aleación	1580,329	271,694	3,55E-05	2,298	14,385
Cobre	788,89	224,517	9,44E-05	1,4786643	30,292838
Aluminio	2451,666	645,7236	0,000285	3,774283	5,397503
Latón	976,2131	290,5797	0,002782	1,445725	25,18067
Polímeros	2708,6013	1174,0299	0,00E+00	3,799269	36,881852
Fibra de vidrio	1986,13	614,212	1,59E-04	1,926	7,958

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Cuadro I. Factores de caracterización de subestación eléctrica

Categoría de Impacto	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
	kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Subestación eléctrica	153.976.564	28.866.577	6	229.877	1.861.551

Torres de Alta tensión. Al igual que en el caso anterior, la suma de sus materiales por sus factores de caracterización (Cuadro J) permite la construcción de los factores de caracterización de las torres de alta tensión (Cuadro K).

Cuadro J. Factores de caracterización de materiales que componen torres de alta tensión.

Material	Cantidad por torre	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
	kg	kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Acero	17.100	1.580,329	271,694	3,55E-05	2,298	14,385
Zinc	62,9631	220,992	1,46E-04	2,25193	3624,180	62,9631

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012); Wang (2011).

Cuadro K. Factores de caracterización de subestación eléctrica

Categoría de Impacto	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
	kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Torre de Alta Tensión	27.080,305	4.844,860	0,0007	41,327	3.507,745

Aerogeneradores. En este caso, el proveedor (Gamesa) ha realizado un ACV de su proceso productivo (Cuadro L), por lo que sus datos se ajustaron en función de la unidad funcional de este Análisis de Ciclo de Vida (Cuadro M).

Cuadro L. Factores de caracterización de 50MW de potencia instalada.

GAMESA (potencia instalada 50 MW)					
Categoría de Impacto	Cambio Climático	Formación de Material Particulado	Deterioro de la Capa de Ozono	Consumo de agua	Consumo de Combustibles Fósiles
	kg CO ₂ eq	kg PM10 eq	kg CFC-11 eq	m ³	kg oil eq
Producción Aerogeneradores	4,95E-03	6,74E-06	8,61E-10	2,25E+01	2,36E-05

Fuente: Elaboración propia, a partir de Muro y Fernández (2013).

Cuadro M. Factores de caracterización de un aerogenerador Gamesa

Categoría de Impacto	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
	kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Aerogenerador	30.562,968	41,615	0,005	138,922	145,809

Apéndice 5: Factores de caracterización para entradas y salidas por Proceso Unitario.

Transporte.

Flujo	Unidad	Tipo	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de Agua
			kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Barco	tkm	-	0,002	0,001	4,01E-12	2,27E-05	1,81E-07
Camiones	tkm	Camión pequeño	0,065	0,022	1,33E-10	0,00013	5,88E-06
		Camión grande	0,049	0,016	1,01E-10	9,76E-05	4,45E-06
Aviones	tkm	-	2,086	0,701	3,19E-09	0,002	0,00019
Buses	tkm	-	0,065	0,022	1,33E-10	0,001	5,88E-06
Camionetas	tkm	-	0,136	0,045	2,75E-10	0,001	1,21E-05

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Movimiento de Tierra.

Flujo	Unidad	Tipo	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
			kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Aceites y Lubricantes	t	-	982,324	1,011	1,45E-05	1,001	7,388
Agua Industrial	m ³	Humectación	6,514	0,001	6,82E-07	0,005	1,016
		Compactación					
		Estabilizado	2,447	0,001	3,83E-07	0,006	0,004
Áridos	t	Arena - Grava	2,447	0,001	3,83E-07	0,006	0,004
Bischofita	t	-	166,019	0,043	0,00E+00	0,602	5,2E-06
Diésel	t	-	388,068	1,198	7,23E-06	0,592	0,319
		Excavadora	2,002	0,666	4,03E-09	0,003	0,001
Maquinaria	HM	Bulldozer	2,504	0,000	1,46E-03	0,695	0,000
		Compactadora	1,388	0,000	8,08E-04	0,385	0,000

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Cimentación y Fundación.

Flujo	Unidad	Tipo	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
			kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Aceites y Lubricantes	t	Aceite lubricante	982,324	1,011	1,45E-05	1,001	7,388
Acero (Hierro)	t	Acero estructural	660,000	200,000	4,46E-05	4,000	8.620,000
		Acero de refuerzo	1.890,000	490,000	0,000	9,000	7.640,000
Diésel	t	Equipos y maquinaria	388,068	1,198	7,24E-06	0,592	0,319
Hormigón	t	Hormigón limpieza / Cimentación	293,240	34,740	2,49E-06	0,490	561,160

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Montaje.

Flujo	Unidad	Tipo	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
			kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Aceites y Lubricantes	t	-	982,324	1,0114	1,45E-05	1,001	7,388
Áridos	t	Arena	2,447	0,001	3,83E-07	0,0065	0,004
Fibra Óptica	t	-	1.344,201	0,461	1,31E-04	1,419	11,750
Cables	t	-	788,890	224,517	9,44E-05	1,478	30,292
Tubos PVC	t	-	2.708,601	1174,029	0,00E+00	3,799	36,881
Aero – generadores	unidad	-	27.167,080	10,990	4,96E-03	41,620	124,230
Diesel	t	-	388,068	1,198	7,24E-06	0,592	0,319
Maquinaria	HM	Grúa torre	1,778	0,000	1,04E-03	0,315	0,000
		Grúa móvil	1,732	0,000	1,01E-03	0,389	0,000

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Mantenimiento de Faena.

Flujo	Unidad	Tipo	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósil	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
			kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Agua Industrial	m ³	Humectación	6,514	0,0014	6,81E-07	0,005	1,016

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Uso de Instalaciones de Faena.

Flujo	Unidad	Tipo	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
			kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Agua Potable	m ³	-	0,576	5,07E-05	7,20E-09	0,002	1,003
Diésel	ton	-	388,068	1,198	7,23E-06	0,592	0,319
Emisiones generadores	Litros diésel	-	3,900	0,000	0,000	0,029	0,00

Gestión de Residuos.

Flujo	Unidad	Tipo	Criterio de selección	Cambio Climático	Consumo de Combustibles Fósiles	Deterioro de la Capa de Ozono	Formación de Material Particulado	Consumo de agua
				kg CO ₂ eq	kg oil eq	kg CFC-11 eq	kg PM10 eq	m ³
Lodos y Aguas Servidas	m ³	-	Destino = Tratamiento	28,503	0,002	1,77E-07	0,018	-0,912
Residuos domiciliarios	ton	-	Tratamiento = Relleno	905,129	0,013	1,48E-06	0,347	0,120
Residuos Industriales No Peligrosos	ton	Maderas	Tratamiento = Depósito	1.450,631	0,024	2,96E-06	0,532	0,397
		Metálicos	Tratamiento = Depósito	14,482	0,003	3,09E-07	0,057	0,012
		Restos de Hormigón	Tratamiento = Depósito	12,326	0,003	3,22E-07	0,221	0,014
		Cartón	Tratamiento = Depósito	871,578	0,024	2,96E-06	0,497	0,293
		Restos de cable	Tratamiento = Depósito	12,326	0,003	3,22E-07	0,221	0,014
		Restos de materiales	Tratamiento = Depósito	12,326	0,003	3,22E-07	0,221	0,014
		Plásticos	Tratamiento = Depósito	70,228	0,024	2,96E-06	0,433	0,102
		Escombros	Tratamiento = Depósito	12,326	0,003	3,22E-07	0,221	0,014
Residuos peligrosos	ton	-	Total	1.980,989	0,196	0,001	6,631	22,905

Fuente: Elaboración propia, a partir de ELCD (2012).

Apéndice 6: Detalle de los principales impactos por actividades para cada categoría de impacto y sistema estudiado

Infraestructura de generación.

Cambio Climático:

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		Kg CO ₂ eq	%
Cimentación y Fundación	Acero	50.085,00	3
	Diésel (consumo interno maquinaria)	3.457,99	0
	Emisiones maquinaria	5.961,85	0
Montaje	Hormigón	45.991,49	3
	Áridos	190,08	0
	Fibra óptica	305,34	0
	Cables	391,91	0
	Tubos de PVC	48.682,27	3
	Aerogeneradores	13.583,54	1
	Subestación eléctrica	1.374.790,75	85
	Diésel (consumo interno maquinaria)	356,60	0
	Emisiones Maquinaria	3.859,21	0
Total Procesos Críticos	1.547.656,05	96	
Otros Procesos Unitarios	65.407,89	4	
Total	1.613.063,94	100	

Consumo de Agua:

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		m ³	%
Montaje	Áridos	0,32	0
	Fibra óptica	2,67	0
	Cables	15,05	0
	Tubos de PVC	662,89	4
	Aerogeneradores	62,12	0
	Subestación eléctrica	16.620,99	93
	Diésel (consumo interno maquinaria)	0,29	0
	Emisiones Maquinaria	0,00	0
Total Procesos Críticos	1.547.656,05	97	

Continúa.

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		m ³	%
Otros Procesos Unitarios		512,75	3
Total		17.877,08	100

Consumo de Combustibles Fósiles:

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		Kg pet _{eq}	%
Transporte	Emisiones Transporte Material Barco	2.379,10	1
	Emisiones Transporte Material Camiones	2.624,12	1
	Emisiones Transporte Material Aviones	10.036,58	3
	Emisiones Transporte Personal Terrestre	75,32	0
	Emisiones Transporte Personal Aviones	763,53	0
Cimentación y Fundación	Acero	12.985,00	4
	Diésel (consumo interno maquinaria)	10.680,61	3
	Emisiones Maquinaria	0,00	0
Montaje	Hormigón	5.448,59	2
	Áridos	53,54	0
	Fibra óptica	104,77	0
	Cables	111,54	0
	Tubos de PVC	21.101,09	6
	Aerogeneradores	5.493,31	2
	Subestación eléctrica	257.737,30	76
	Diésel (consumo interno maquinaria)	1.101,44	0
Emisiones Maquinaria	0,00	0	
Total Procesos Críticos		330.695,85	98
Otros Procesos Unitarios		6.711,62	2
Total		337.407,46	100

Formación de Material Particulado:

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		Kg MP10 _{eq}	%
Transporte	Emisiones Transporte Material Barco	75,09	2
	Emisiones Transporte Material Camiones	567,82	18

Continúa.

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		Kg MP10 _{eq}	%
Transporte	Emisiones Transporte Material Aviones	36,74	1
	Emisiones Transporte Personal Terrestre	0,45	0
	Emisiones Transporte Personal Aviones	2,80	0
Cimentación y Fundación	Acero	238,50	7
	Diésel (consumo interno maquinaria)	5,28	0
	Emisiones Maquinaria	5,14	0
Montaje	Hormigón	76,79	2
	Áridos	0,51	0
	Fibra óptica	0,32	0
	Cables	0,73	0
	Tubos de PVC	68,29	2
	Aerogeneradores	20,81	1
	Subestación eléctrica	2.052,48	63
	Diésel (consumo interno maquinaria)	0,54	0
	Emisiones Maquinaria	30,56	1
Total Procesos Críticos	3.182,85	98	
Otros Procesos Unitarios	60,66	2	
Total	3.243,51	100	

Deterioro de la Capa de Ozono:

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		kg CFC-11 _{eq}	%
Movimiento de Tierra	Agua Industrial	0,00010	0
	Áridos	0,00046	0
	Bischofita	0,00000	0
	Diésel (consumo interno maquinaria)	0,00003	0
	Emisiones Maquinaria	0,07921	6
Montaje	Áridos	0,00003	0
	Fibra óptica	0,00003	0
	Cables	0,00005	0
	Tubos de PVC	0,00000	0
	Aerogeneradores	0,00248	0
	Subestación eléctrica	0,04979	4
	Diésel (consumo interno maquinaria)	0,00001	0

Continúa

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		kg CFC-11 _{eq}	%
Montaje	Emisiones Maquinaria	0,07286	6
Mantenimiento de Faena	Agua Industrial	0,00006	0
	Aceites y Lubricantes	1,05527	84
Total Procesos Críticos		1,26037	100
Otros Procesos Unitarios		0,00108	0
Total		1,26145	100

Infraestructura de transmisión.

Cambio Climático:

Proceso Unitario	Actividad / Insumo	Total	
		Kg CO ₂ _{eq}	%
Transporte	Emisiones Transporte Material Barco	34,70	0
	Emisiones Transporte Material Camiones	12.625,69	10
	Emisiones Transporte Material Aviones	0,00	0
	Emisiones Transporte Personal Terrestre	456,52	0
	Emisiones Transporte Personal Aviones	6.525,15	5
Cimentación y Fundación	Acero	2.905,38	2
	Diésel (consumo interno maquinaria)	498,33	0
	Emisiones maquinaria	233,57	0
Montaje	Hormigón	4.784,67	4
	Áridos	154,64	0
	Fibra óptica	706,29	1
	Cables	2.703,26	2
	Tubos de PVC	0	0
	Torres de Alta Tensión	84.018,38	68
	Diésel (consumo interno maquinaria)	676,20	1
Emisiones Maquinaria	1.275,88	1	
Total Procesos Críticos		117.598,65	95
Otros Procesos Unitarios		5.908,72	5
Total		123.507,38	100

Consumo de Agua:

Proceso Unitario	Actividad / Insumo	Total	
		m ³	%
Montaje	Áridos	0,26	0
	Fibra óptica	6,17	0
	Cables	103,80	1
	Tubos de PVC	0,00	0
	Torres de Alta Tensión	10.883,01	94
	Diésel (consumo interno maquinaria)	0,56	0
	Emisiones Maquinaria	0,00	0
Total Procesos Críticos		10.993,80	95
Otros Procesos Unitarios		557,55	5
Total		11.551,35	100

Consumo de Combustibles Fósiles:

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		Kg pet _{eq}	%
Transporte	Emisiones Transporte Material Barco	10,31	0
	Emisiones Transporte Material Camiones	4.237,49	14
	Emisiones Transporte Material Aviones	0,00	0
	Emisiones Transporte Personal Terrestre	152,40	0
	Emisiones Transporte Personal Aviones	2.192,71	7
Cimentación y Fundación	Acero	499,50	2
	Diésel (consumo interno maquinaria)	1.539,18	5
	Emisiones Maquinaria	0,00	0
Montaje	Hormigón	566,84	2
	Áridos	43,56	0
	Fibra óptica	242,35	1
	Cables	769,35	2
	Tubos de PVC	0,00	0
	Torres Alta Tensión	15.031,49	49
	Diésel (consumo interno maquinaria)	2.088,57	7
Emisiones Maquinaria	0,00	0	
Mantenimiento de faena	Agua Industrial	360,38	1
	Aceites y Lubricantes	1.715,28	6
Total Procesos Críticos		29.449,40	95
Otros Procesos Unitarios		1.407,39	5
Total		30.856,79	100

Formación de Material Particulado:

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		Kg MP10 _{eq}	%
Transporte	Emisiones Transporte Material Barco	0,33	0
	Emisiones Transporte Material Camiones	24,85	11
	Emisiones Transporte Material Aviones	0,00	0
	Emisiones Transporte Personal Terrestre	0,93	0
	Emisiones Transporte Personal Aviones	8,03	3
Movimiento de Tierra	Agua Industrial	1,37	1
	Áridos	0,18	0
	Bischofita	0,23	0
	Diésel (consumo interno maquinaria)	0,49	0
Cimentación y Fundación	Emisiones Maquinaria	26,48	11
	Acero	4,23	2
	Diésel (consumo interno maquinaria)	0,76	0
	Emisiones Maquinaria	0,20	0
	Hormigón	7,99	3
Montaje	Áridos	0,42	0
	Fibra óptica	0,75	0
	Cables	5,07	2
	Tubos de PVC	0,00	0
	Torres Alta Tensión	128,22	55
	Diésel (consumo interno maquinaria)	1,03	0
	Emisiones Maquinaria	17,35	7
Total Procesos Críticos	228,91	98	
Otros Procesos Unitarios	3,54	2	
Total	232,44	100	

Deterioro de la Capa de Ozono:

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		kg CFC-11 _{eq}	%
Mantenimiento de faena	Agua Industrial	0,00	0
	Aceites y Lubricantes	24,65	100

Continúa

Proceso unitario	Actividad / Insumo	Total	
		kg CFC-11 _{eq}	%
Total Procesos Críticos		24,65	100
Otros Procesos Unitarios		0,11	0
Total		24,75	100

