



UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO



FACULTAD DE BIOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Impacto ambiental derivado del campo de aerogeneradores La Venta I, Oaxaca

Tesis para obtener el grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presenta:

Alejandro Espinoza Pérez

Asesora:

Dra. Liliana Márquez Benavides

Co-asesor:

M.D.M José Rafael Dorrego Portela

Morelia Michoacán febrero de 2021

AGRADECIMIENTOS

Comienzo por agradecer a mi familia, especialmente a mi mamá, que me apoyó en la decisión de continuar con mi formación académica mediante la realización de un posgrado. Regresar a las aulas después de dedicarme al sector laboral no fue fácil, sin embargo, esta etapa me dejó los conocimientos para aplicarlos en mi vida cotidiana y laboral a fin de mejorar nuestro mundo.

Agradezco a aquellos profesores que impartieron clase a fin de que yo pudiera incrementar mis conocimientos para culminar de manera satisfactoria esta tesis, especialmente a aquellos que hicieron la clase interesante y que además incentivaron en mí el cuidado de nuestro medio ambiente y la responsabilidad social que tenemos como profesionales con nuestro planeta.

Dra. Liliana Márquez Benavides, gracias por ser mi asesora. Gracias por su paciencia, por sus conocimientos y por su apoyo en este proyecto. Principalmente, gracias por ayudarme a mejorar como persona en algunos aspectos que estaban mal en mi vida.

M.D.M José Rafael Dorrego Portela, gracias por abrirme las puertas de su universidad y permitirme conocer este sector de la energía del cual conocía muy poco, asimismo, gracias por su apoyo y por guiarme en la búsqueda de la información necesaria para este proyecto.

Agradezco también a quienes formaron parte de mi mesa tutorial: Dr. Edgar L. Moreno Goytia, Dr. Gabriel Martínez Herrera y Dra. Georgina Carbajal de la Torre, gracias por sus consejos y críticas que dieron forma a este proyecto.

Por último, pero no menos importante, agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Por la ayuda otorgada para poder culminar una meta más en el camino de mi formación humana.

RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN	7
Capítulo 1 MARCO TEÓRICO	8
1.1. CAMBIO CLIMÁTICO	8
1.1.1. Concepto y origen.....	8
1.1.2. Emisión de gases de efecto invernadero.....	9
1.1.3. Huella de carbono y cambio climático	10
1.1.4. Consecuencias del cambio climático.....	11
1.1.5. Medidas para mitigar el cambio climático y estrategias de adaptación.	12
1.2 IMPACTO AMBIENTAL.....	14
1.2.1 Concepto.....	14
1.2.2 Clasificación de los impactos ambientales.....	14
1.2.3 Medidas contra el impacto ambiental.....	16
1.2.4 Evaluación de impacto ambiental	16
1.2.5 Metodologías de evaluación de impacto ambiental	16
1.2.5.1 Listas de verificación.....	16
1.2.5.2 Redes de interacción	17
1.2.5.3 Matriz de Leopold	17
1.2.5.4 Método gráfico o de superposición	17
1.2.5.5 Análisis de ciclo de vida.....	18
1.2.6 Comparativa de las metodologías de impacto ambiental	20
1.2.7 Energías renovables.....	22
1.2.7.1 Concepto	22
1.2.7.2 Energía Hidroeléctrica.....	22
1.2.7.3 Energía Geotérmica	22
1.2.7.4 Energía Solar	22
1.2.7.5 Energía Nuclear	22

1.2.7.6	Energía Eólica.....	23
1.2.7.7	La energía eólica en México.....	23
1.2.8	Aerogeneradores.....	24
1.2.8.1	Concepto y clasificación.....	24
1.2.8.2	Partes principales de un aerogenerador.	25
1.2.9	El acero, concepto, características y clasificación	27
1.2.10	Reservas mundiales de Hierro.....	28
1.2.11	Impacto ambiental de la extracción de mineral Hierro	29
1.2.12	Producción mundial de acero	30
1.2.13	Impacto ambiental en la producción de acero por la industria siderúrgica	32
1.2.14	Reciclaje de acero.....	34
1.3	ANTECEDENTES	36
1.4	CONCEPTUALIZACIÓN.....	38
1.4.1	Problema de investigación	38
1.4.2	Pregunta de investigación	38
1.4.3	Hipótesis.....	38
1.4.4	Objetivos	38
1.4.5	Justificación.....	39
1.5	PLAN GENERAL DE TRABAJO	40
1.6	METODOLOGÍA.....	41
Capítulo 2	FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	48
2.1	¿QUÉ ES EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)?	48
2.2	FASES DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA.....	49
2.2.1.	Definición de Objetivos y Alcance.....	50
2.2.2.	Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)	50
2.2.3.	Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)	50
2.2.3.1.	Categorías de impacto ambiental	51
2.2.3.2.	Factores de caracterización	53
2.2.3.3.	Normalización, agrupación y ponderación.....	54
2.2.3.4.	Metodologías de evaluación de impactos de ciclo de vida	54
2.2.4.	Interpretación.....	57

Capítulo 3 ANALISIS DE CICLO DE VIDA ESTUDIO DE CASO: AEROGENERADOR TIPO VESTAS V27/ 225	58
3.1 FASE 1: DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE	58
3.1.1 Objetivo de la metodología de ACV	58
3.1.2 Alcance.....	58
3.1.2.1 Descripción del área de estudio	59
3.2 FASE 2: DESARROLLO DEL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (ICV)	61
3.2.1 Generalidades del funcionamiento de un aerogenerador Vestas V27/225.....	61
3.2.1.1 Funcionamiento y componentes de un aerogenerador Vestas V27/225.....	61
3.2.1.2 Generación de energía eléctrica.....	65
3.2.1.3 Mantenimiento y desmantelamiento de un aerogenerador Vestas V27/225 .	66
3.2.2 Límites del sistema.....	71
3.2.3 ICV: Etapa de obtención de materia prima para un aerogenerador Vestas V27/225	72
3.2.4 ICV: Etapa de manufactura para un aerogenerador Vestas V27/225.....	74
3.2.5 ICV: Etapa de transporte para un aerogenerador Vestas V27/225.....	78
3.2.6 ICV: Etapa de instalación, uso y mantenimiento de un aerogenerador Vestas V27/225	83
3.2.6.1 Etapa de instalación: cimentación	83
3.2.6.2 Etapa de uso: producción de energía eléctrica.....	84
3.2.6.3 Etapa de mantenimiento	87
3.2.7 ICV: Etapa de disposición final y escenarios de residuos.....	90
3.2.7.1 Fase de final de vida útil.....	90
3.2.7.2 Fase de desmantelamiento	90
3.2.7.3 Escenario de disposición de residuos	92
3.3 FASE 3: EVALUACIÓN DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA (EICV)	98
3.3.1 Contribución del impacto ambiental por las distintas etapas del ACV	98
3.3.2 Clasificación del impacto ambiental del campo de aerogeneradores La Venta I	100
3.3.3 Impacto ambiental por categoría relevante	101
3.3.3.1 Radiación ionizante	101
3.3.3.2 Ocupación de tierras agrícolas.....	104

3.3.3.3 Ocupación del suelo urbano	106
3.3.3.4 Agotamiento del agua.....	108
3.4 FASE 4: INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	110
3.4.1 Discusión del modelo de impacto ambiental del Aerogenerador Vestas V27/225	113
3.4.1.1 Etapa de uso y mantenimiento.....	113
Capítulo 4 PROYECCIONES DE DESMANTELAMIENTO DE AEROGENERADORES E IMPACTO AMBIENTAL EN MÉXICO	117
4.1. PROYECTOS EÓLICOS PARA DESMANTELAMIENTO EN EL AÑO 2030 ..	118
Capítulo 5 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS Y OBJETIVOS	122
5.1. Hipótesis	122
5.2. Cumplimiento de objetivos	122
Capítulo 6 CONCLUSIONES Y LIMITACIONES.....	124
6.1. CONCLUSIONES	124
6.2. LIMITACIONES	124
BIBLIOGRAFÍA	125
ANEXO I	129
ANEXO II.....	132
ANEXO III	135

RESUMEN

En el año de 1980 se realizaron los primeros estudios acerca de a la valoración de las cualidades y distribución de los vientos en el territorio, a partir de entonces sobresalió el sur del istmo de Tehuantepec, Oaxaca, donde la velocidad media anual del viento está por encima de los 10 m/s, mientras que en el mundo se aprovechan vientos promedio de 6.5 m/s para la generación de energía eléctrica. El primer parque eólico de México se instaló en Juchitán de Zaragoza, Oaxaca y entró en operación en 1994. Para septiembre del 2018 México cuenta con una capacidad instalada de 4,176 MW, 49 parques eólicos distribuidos en 12 estados. La presente investigación tiene como principal objetivo determinar el impacto ambiental ocasionado por el campo de aerogeneradores que ha concluido su operación en La venta I en Oaxaca mediante la aplicación del ACV (Análisis de Ciclo de Vida). Dicho campo de aerogeneradores comprende siete aerogeneradores daneses Vestas V27/225. Para la aplicación del ACV se visitó la zona de estudio para el levantamiento del inventario de los componentes del aerogenerador, se estableció el límite del sistema para el análisis del ACV, se evaluaron las entradas y salidas del sistema para el ACV de acuerdo a la norma ISO 14040: 2006 y se determinaron los impactos ambientales mediante el uso del software SimaPro, version 8.2.3.0. Los resultados obtenidos muestran una contribución de impacto ambiental del 44.3% para la etapa de obtención de materia prima, 51% en la manufactura y 3.25% para la instalación, uso y mantenimiento. Asimismo, se determinó que cada generador tiene un *energy payback time* de 8.5 meses y aporta 26 g de CO₂e/kWh cuando no se reciclan los residuos y 20 g de CO₂e/kWh cuando existe reciclaje (estimado para un periodo de vida de 20 años de los aerogeneradores).

Palabras clave: análisis de ciclo de vida, aerogeneradores, impacto ambiental, energía eólica, parque eólico

ABSTRACT

In 1980 the first studies were carried out on the assessment of the qualities and distribution of the winds in the territory, from then on, the south of the Isthmus of Tehuantepec stood out, Oaxaca, where the average annual wind speed is above 10 m / s, while in the world average winds of 6.5 m/s are used for the generation of electrical energy. The first wind farm in Mexico was installed in Juchitán de Zaragoza, Oaxaca and went into operation in 1994. Just in September 2018, Mexico had an installed capacity of 4,176 MW, 49 wind farms distributed in 12 states. The main objective of this research was to determine the environmental impact caused by the wind farm that has concluded its operation in La Venta I in Oaxaca by applying a Life Cycle Analysis (LCA). This wind farm has seven Danish Vestas V27 / 225 wind turbines. For the application of the LCA, the study area was visited for the inventory of the wind turbine components, the system limit was established for the LCA analysis, the inputs and outputs of the LCA system were evaluated according to the standard ISO 14040: 2006 and environmental impacts were determined through the use of SimaPro software, version 8.2.3.0. The obtained results showed an environmental impact contribution of 44.3% for the raw material obtaining stage, 51% in manufacturing and 3.25% for installation, use and maintenance. Likewise, the study determined that each generator has an energy payback time of 8.5 months and provides 26 g of CO_{2e} / kWh when waste is not recycled and 20 g of CO_{2e} / kWh when there is a recycling (estimated for a life period of 20 years of wind turbines).

INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía no renovables dominan el sector energético y han permitido el desarrollo económico del país. Para el año 2009 la producción de energía primaria alcanzo la cifra de 9,852.9 PJ, de la cual los hidrocarburos aportaron el 90.5%, la energía de fuentes renovables el 6.2%, la energía nuclear el 1.1% y el carbón mineral el 2.2%. Sin embargo, es importante mencionar que los procesos de producción y consumo de energía tienen gran influencia sobre las transformaciones del medio ambiente (SEMARNAT 2010).

Desde 1960, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es la empresa encargada de la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica del país. La capacidad en 2018 estaba integrada por diversas fuentes de generación, de las cuales la aportación por parte de las energías fósiles con 68.36%; centrales geotérmicas 1.22%; las hidroeléctricas con 16.55%; biogás 0.29%; fotovoltaica 2.16%, bagazo 1.14% y las eólicas con un 5.74% de la energía total del país (SENER 2018).

México está considerado como uno de los países a nivel global, con un alto potencial de generación de energía eólica (SEGOB 2015). Sin embargo, los estudios acerca de los impactos ambientales ocasionados mediante el uso de fuentes de energía renovable, como la eólica, no son del todo extensos ya que solo los abarcan desde la implantación del proyecto, y dejan de lado aspectos importantes como los impactos ocasionados por la manufactura de los elementos que componen al proyecto, así como la disposición de los residuos del mismo. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es identificar los impactos ambientales y la contribución en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero en el campo de aerogeneradores La Venta I en Oaxaca, mediante la aplicación del análisis de ciclo de vida.

Capítulo 1 MARCO TEÓRICO

1.1. CAMBIO CLIMÁTICO

1.1.1. Concepto y origen

La atmósfera es una capa compuesta por una mezcla de gases y aerosoles que se encuentran en suspensión. El 99% de la atmósfera está compuesta principalmente por oxígeno (O_2) y nitrógeno (N_2), del cual el oxígeno representa el 21% y el nitrógeno el 78% restante, sin embargo no son gases de efecto invernadero (Martínez y Fernández 2004).

El cambio climático se define como todo aquel cambio que ocurre en el clima a través del tiempo resultado de fuentes naturales o bien, a causa de las actividades antropocéntricas. El calentamiento global es la prueba más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales.

El clima cambia de forma natural, sin embargo, el incremento de las temperaturas en el planeta registrado en los últimos 50 años puede ser mayormente atribuido a los efectos de la actividad humana (SEMARNAT 2009).

El cambio climático es definido por Díaz (2012), como el cambio que se genera directamente o indirectamente por actividades humana o de fuentes naturales, provocando alteraciones en la composición de la atmósfera y a la variabilidad natural del clima, que se refleja en las modificaciones de las temperaturas terrestres y marinas.

De acuerdo a la AMC (2007), alrededor del 0.1 % corresponde a los gases de efecto invernadero. Dentro de los principales GEI se encuentran el vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4), y el ozono (O_3). Existen además GEI creados por el ser humano, como los halocarburos y el hexafluoruro de azufre (SF_6), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC) (IDEAM 2007).

En relación al total de la luz solar que llega al planeta Tierra, el 30% es reflejado nuevamente al espacio, el 20% de la energía solar calienta el aire, y la superficie terrestre es calentada por el 50% restante. La luz solar que calienta la superficie terrestre (de alta energía), es transformada en radiación de baja energía y es reflejada nuevamente hacia la atmósfera. Esa energía del tipo infrarroja es absorbida de una forma más eficiente por algunos gases de la atmósfera, principalmente el dióxido de carbono, vapor de agua, el metano y otros, lo cual representa la principal fuente de calor para la atmósfera, dando lugar al llamado efecto invernadero (Caballero et al. 2007). Sin embargo, pese a que los gases de efecto invernadero son parte importante para el planeta, la mayor producción de estos y la invención de nuevos GEI a causa de las actividades humanas ha contribuido también al cambio climático de una forma acelerada, como se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Características de los gases de efecto invernadero y sus concentraciones

Nombre del gas	Persistencia en la atmósfera (años)	Potencial de calentamiento PCG (100 años)
Dióxido de carbono	Variable	1
Metano (CH₄)	12.4	28
Óxido nitroso (N₂O)	114	265
HFC-23	222	12,400
HFC-134a	13.4	1,300
CF₄ (PFC)	50,000	6,630
Hexafluoruro de azufre	3,200	23,500
NF₃	500	16,100

Fuente: (Elaboración propia con datos de Gillenwater 2010)

1.1.2. Emisión de gases de efecto invernadero

A nivel global las emisiones de gases de efecto invernadero debidas a la actividad humana están compuestas principalmente por el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso y en menor medida los clorofluorocarburos. En la Figura 1.1 se expresan las emisiones de los principales GEI, en el año 2015.

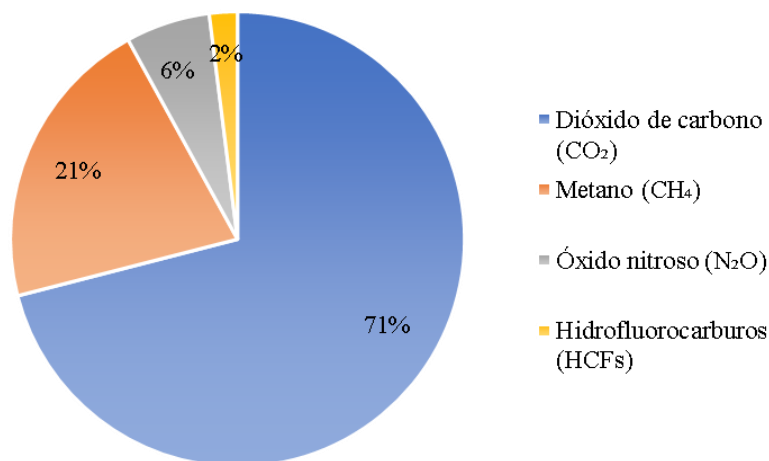


Figura 1.1 Principales emisiones de GEI en 2015

Fuente: (Elaboración propia en base a INECC 2018)

A nivel mundial, el incremento de las emisiones de los GEI tiene su origen con actividades relacionadas con el sector energético que representan 26% de las emisiones, el sector industrial (19%), forestal (17%), agrícola (14%), residencial y comercial (8%) y de manejo de desechos (3%) (Saynes 2016).

Entre los principales emisores de CO₂ en 2014 destacaron China, EUA, Unión Europea e India como se muestra en la Figura 1.2.

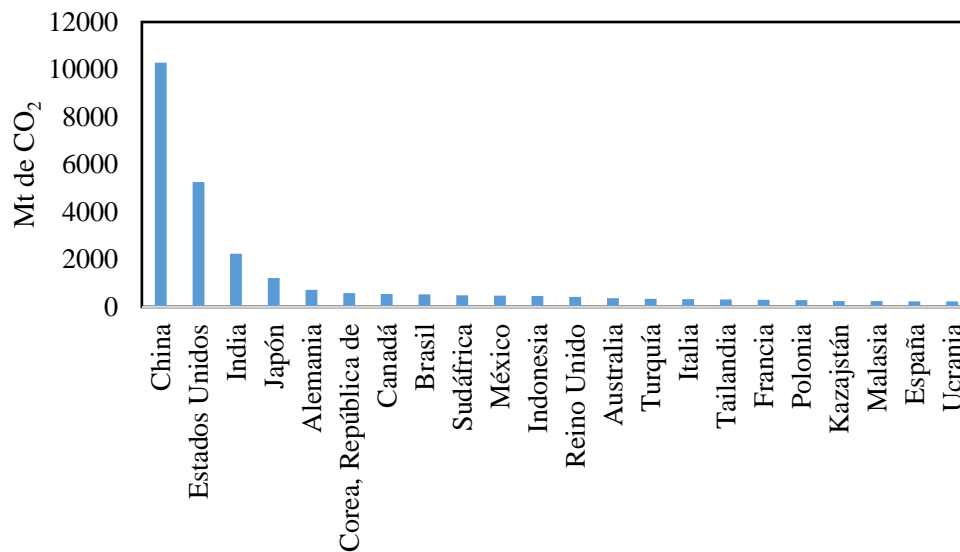


Figura 1.2 Principales países emisores de CO₂ en 2014

Fuente: (Elaboración propia en base al BM 2018)

1.1.3. Huella de carbono y cambio climático

La huella de carbono es una representación de la cantidad de emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero, a causa de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios (Espíndola y Valderrama 2012).

El cambio climático es el principal efecto a causa del aumento en los gases de efecto invernadero, los cuales son el vapor de agua, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) y clorofluorocarbonos (CFCs) como se han mencionado con anterioridad. La huella de carbono identifica estos GEI de una forma equivalente al CO₂, a fin de proponer medidas de prevención, reducción y/o compensación como último recurso (Cortés 2015).

El cálculo de la huella de carbono es la primera fase para lograr la construcción del balance de carbono institucional, dentro del cual se equilibra las emisiones que varían en el tiempo y espacio, y el potencial de remoción. Además, la huella de carbono es uno de los principales indicadores mundiales para reconocer la dinámica de los gases de efecto invernadero, debido a la preocupación internacional de las organizaciones e instituciones ante el cambio climático. El análisis en cuanto a la evaluación de las fuentes emisoras de gases de efecto invernadero por producto se vuelve muy complejo. Para la definición de la huella de carbono en un sentido más amplio, es necesario tomar en cuenta la responsabilidad de los consumidores mediante el proceso de compra, con el cual se vuelven una de las principales causas de la huella de carbono originada por un determinado bien o servicio (CEPAL 2010).

1.1.4. Consecuencias del cambio climático

Las emisiones de gases de efecto invernadero por actividades humanas, han ido en aumento desde la era preindustrial, impulsadas en su mayoría por el crecimiento económico y demográfico, causando efectos negativos en los sistemas naturales, en todos los continentes y en los océanos (Martínez y Fernández 2004, IPCC 2014, BM 2018) establecen los siguientes impactos causados por el cambio climático:

- Cambios en las temporadas de lluvia que generan amenaza de sequía o inundaciones, por lo tanto, se tiene un impacto negativo en los sectores dependientes de agua, como son la agricultura, ganadería y salud.
- Reducción en el rendimiento de los cultivos, por la disminución de la disponibilidad de agua.
- Incremento en la distribución de enfermedades.
- Elevación o disminución de la temperatura de la superficie, fuera de los parámetros normales de variabilidad.
- Cambios en los ciclos hidrológicos que provocan alteraciones en las condiciones oceánicas, que inducen cambios en los ecosistemas marinos.

El IPCC (2014) en su quinto informe prevé impactos futuros como:

- El constante aumento de temperatura, generando olas de calor con mayor frecuencia y con una duración más extensa.
- Precipitaciones extremas y frecuentes.
- Calentamiento y acidificación en los océanos.

1.1.5. Medidas para mitigar el cambio climático y estrategias de adaptación.

Se entiende como mitigación del cambio climático las estrategias para disminuir las fuentes y emisiones o incrementar los sumideros de gases de efecto invernadero, a través de la intervención antropogénica (IPCC 2014).

De acuerdo a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático la mitigación se refiere a aquellas políticas, tecnologías y medidas cuyo objetivo es la reducción de las emisiones de GEI y mejorar los sumideros de los mismos. Es necesaria una combinación de medidas adaptadas según la condición nacional, regional o local, debido a que las circunstancias para cada una de ellas son muy variables (CIIFEN 2017).

Las medidas de mitigación están en función del desarrollo social, en sus factores socioeconómicos, políticos, culturales y tecnológicos, ya que en base a estos se permitirán o restringirán la aplicación de dichas medidas de mitigación, así que no existe un único camino para la estabilización de los GEI en la atmósfera (IPCC 2014). Algunas de las medidas de mitigación propuestas por Martínez y Fernández (2004) son:

- Protección y conservación de ecosistemas a través de zonas protegidas, corredores biológicos y manejos forestales adecuados.
- Protección del suelo mediante el control de la erosión hídrica.
- Conservación del agua superficial y subterránea, con la finalidad de reducir la demanda y mejorar el suministro.
- Búsqueda de cultivos resistentes a las sequías.
- Cambio a combustibles con baja emisión de carbono.

Así mismo, en el quinto informe de evaluación del IPCC (2014) se proponen otras medidas de mitigación para el cambio climático como lo son:

- La descarbonización del sector energético.
- El decremento en la demanda de energía final.
- La planificación urbana y territorial.
- La densificación inteligente a través del desarrollo compacto y relleno de los espacios urbanos para conservar territorio para la agricultura, la bioenergía y los sumideros de carbono terrestres.
- Auditorías energéticas, mediante la implementación de programas gubernamentales.
- Cambios en la alimentación humana y disminución de los residuos en la cadena de abastecimiento de alimentos.
- Reciclaje de materiales.

- Promover el cambio modal en el uso de transporte de personas y mercancías de baja emisión de carbono, como puede ser el uso de transporte colectivo o de ferrocarril.
- Reducción en las necesidades de movilidad a través de la compactación de los territorios urbanos.
- El uso de instrumentos fiscales como impuestos sobre las emisiones de carbono.

Debido a la producción de efectos importantes de un cambio climático inevitable, los países y comunidades pueden adoptar medidas de adaptación para protegerse ante los impactos y perturbaciones cuya probabilidad de ocurrencia sea alta (CIIFEN, 2017).

Dentro de la Ley General de Cambio Climático de la Secretaría General (2012), se define la adaptación como aquel conjunto de medidas y modificaciones en sistemas antropogénicos o naturales, como respuesta ante efectos climáticos, reales o probables. Con este conjunto de medidas se pretende minimizar el daño o el aprovechamiento de algunos aspectos. De acuerdo con dicha ley, la Estrategia Nacional de Cambio Climático, establece tres sendas estratégicas en materia de adaptación:

2. Disminuir la vulnerabilidad e incrementar la resiliencia del sector social ante los efectos del cambio climático.
3. Disminuir la vulnerabilidad e incrementar la resiliencia de la infraestructura estratégica y sistemas de producción ante los efectos del cambio climático.
4. Usar de manera sostenible los ecosistemas, así como mantener los servicios ambientales que brindan.

Para la selección de las medidas más adecuadas, esta estrategia propone 12 criterios:

1. Cuidado de las poblaciones más vulnerables.
2. Transversalismo en políticas, programas o proyectos.
3. Incentivar la prevención.
4. Sustentabilidad en el uso de los recursos naturales.
5. Conservación de los ecosistemas y su biodiversidad.
6. Participación activa de la población objetivo y fortalecimiento de capacidades.
7. Fortalecimiento de capacidades para la adaptación.
8. Factibilidad.
9. Costo-efectividad o Costo-beneficio.
10. Coordinación entre actores y sectores.
11. Flexibilidad.
12. Monitoreo y evaluación del cumplimiento y efectividad de las acciones elegidas.

1.2 IMPACTO AMBIENTAL

1.2.1 Concepto

Por impacto ambiental se entiende la alteración o modificación que una acción o actividad produce sobre el medio ambiente o en alguno de sus componentes. Este efecto es de magnitud variable y puede ser positivo o negativo, aceptable o rechazable en función de diversos criterios (Jiménez 2001). Así mismo, estas alteraciones no solo pueden ser de origen antropogénico, sino que también pueden surgir a causa de las actividades de la misma naturaleza. (SEMARNAT, 2013).

1.2.2 Clasificación de los impactos ambientales

De acuerdo con SEMARNAT (2013), los impactos ambientales pueden clasificarse por su origen en:

- Fuentes naturales. Ya sea que estas fuentes sean del tipo renovables como el uso forestal o la pesca; o no renovables, como el aprovechamiento de yacimientos de petróleo o carbón.
- Contaminación. Aquellos proyectos que generan residuos (peligrosos o no), producen emisiones hacia la atmósfera o vierten líquidos dañinos al ambiente.
- Ocupación territorial. Los proyectos que, mediante su instalación en un área, ocasionan un cambio de uso de suelo.

También existen diversas clasificaciones de impactos ambientales de acuerdo a sus atributos, siendo principalmente las mostradas en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Clasificación de impactos ambientales acuerdo a sus atributos

Criterio	Tipo	Descripción
Certidumbre	Probable	Cuando la posibilidad de ocurrencia es alta.
	Improbable	Cuando la posibilidad de ocurrencia es baja.
	Desconocido	Cuando no se sabe si puede o no ocurrir.
Efectos	Directos	Acciones que generan efectos de manera inmediata o a largo plazo sin mediación de ningún otro impacto.
	Indirectos	Efectos resultantes del impacto directo y que pueden manifestarse tardíamente.
	Acumulativos	Se suman a través del tiempo y pueden conjuntarse con otros impactos.
	No acumulativos	No se asocian con otros impactos.
Localización	Puntual	Se presenta en el lugar donde ocurre la acción del proyecto.
	Local	Abarca el sitio del proyecto y zonas aledañas.
	Regional	Trasciende a la localidad donde ocurre la acción y se proyecta en una región adicional.
Importancia	Irrelevantes	Hay un efecto, pero, dados los intereses de la localidad, no es digno de tomarse en cuenta.
	Importantes	El efecto es de interés para conciliar los deseos de la población, aunque sea de magnitud menor.
Magnitud	Significativo	Si los impactos tienen efecto importante sobre el ambiente.
	Moderado	Si los efectos son medianamente importantes.
	No significativo	Si los impactos al ambiente no son importantes.
Mitigación	Remediabiles	Se les puede aplicar una medida de control o de atenuación.
	No remediable	No existen medidas de control o de atenuación.
Permanencia	Transitorio	Cuando se puede modificar con una medida de mitigación.
	Residual	Aquel que prevalece después de aplicar todas las medidas posibles de mitigación.
Presencia	Momentáneo	Se presenta de manera inmediata cuando se ejecuta una acción del proyecto y desaparece con ella.
	Temporal	Queda en el ambiente por un tiempo y aun después de concluir la acción.
	Permanente	Permanece en el ambiente después de concluir la acción del proyecto.
Reversibilidad	Reversibles	Las condiciones que existían antes de efectuar la actividad que causó el impacto se restablecen una vez que dicha actividad se suspende.
	No reversibles	Las condiciones iniciales del proyecto no se restablecen, aunque la actividad que ocasionó el impacto sea suspendida o eliminada.
Cualidad	Negativa	Si los impactos perjudican al ambiente se denominan adversos.
	Positiva	Si el proyecto trae beneficios al ambiente se denomina benéfico.
Temporalidad	Corto plazo	Aparecen inmediatamente o en lapsos relativamente cortos una vez que se realizan las actividades del proyecto.
	Mediano plazo	Se manifiestan después de uno o varios años.
	Largo plazo	Aparecen mucho después de iniciado el proyecto.
Tipo	Cuantificables	Se expresan en escalas de proporcionalidad.
	Cualitativos	Se expresan con criterios objetivos de valoración.

Fuente: (Elaboración propia con base en Jiménez 2001)

1.2.3 Medidas contra el impacto ambiental

Desde una perspectiva de desarrollo sustentable, es necesario la aplicación de acciones estructurales y no estructurales para la solución y/o remediación de aquellos efectos negativos en el ambiente producto de la acción del hombre. Sin embargo, es importante conocer aquellos factores de origen antropogénicos que producen dicha afección, así como la situación ambiental correspondiente (Perevochtchikova 2013).

De acuerdo con SEMARNAT (2013), los tres tipos de medidas usadas durante la evaluación de impacto ambiental son las siguientes:

- Medidas de prevención: son aquellas acciones que deben ser ejecutadas a fin de evitar efectos previsibles de deterioro del ambiente.
- Medidas de mitigación: es el conjunto de acciones para minimizar los impactos y restablecer a las condiciones ambientales previas a la perturbación por el proyecto.
- Medidas de compensación: son las acciones mediante las que se pretende recuperar el equilibrio ecológico de ambientes dañados por impactos residuales o asegurar la continuidad de aquellos otros que presentan algún grado de conservación, cuando ambos están localizados en lugares geográficos distintos al afectado directamente por la actividad o proyecto.

1.2.4 Evaluación de impacto ambiental

La Evaluación de Impacto Ambiental es una metodología que tiene como principal objetivo la identificación, predicción e interpretación de efectos de las acciones causadas por un proyecto a fin de prevenir problemas en la salud, el bienestar del humano o en el ambiente.

Con base a Jiménez (2001), los resultados obtenidos en la Evaluación de Impacto Ambiental, él responsable puede optar por alguna de las siguientes decisiones:

- La autorización del proyecto planteado.
- La modificación de del proyecto para reducir o evitar los impactos negativos (inclusive, el cambio del sitio del proyecto).
- Plantear medidas de prevención y protección.
- La cancelación del proyecto.

1.2.5 Metodologías de evaluación de impacto ambiental

1.2.5.1 Listas de verificación

Este método se basa en ordenar a manera de lista aquellos factores ambientales que pudieran

verse afectados por una actividad humana. Con esta lista es posible identificar aquellas consecuencias generadas por dicha actividad además de evitar la omisión de alguna alteración importante durante las bases de la evaluación de impacto ambiental. En esta lista deben estar presentes factores como el agua, el suelo, la atmósfera, flora, fauna, recursos naturales, culturales, etc. (IDEA 2013).

Estos listados pueden clasificarse en:

- Listas simples. Solo contienen una lista de los factores con su respectivo impacto, o una lista descriptiva de la acción con su impacto o ambas.
- Listas descriptivas. Estas listas apoyan en la toma de decisiones durante la evaluación de los factores afectados.
- Cuestionarios. Es un conjunto de preguntas relacionadas a los factores ambientales a fin de tener un análisis respecto a los tipos de impacto que pudieran presentarse.

1.2.5.2 Redes de interacción

Mediante este método se hace la relación de las causas y efectos, con lo cual se puede identificar de una manera más eficiente los impactos. Con este método se es posible observar las interrelaciones entre las actividades y los factores ambientales que pueden verse afectados, además también se hacen análisis de los efectos secundarios y terciarios (IDEA, 2013).

1.2.5.3 Matriz de Leopold

De acuerdo a Leopold et al. (1973), esta metodología de impactos es una matriz en la que las acciones del proyecto se presentan en las columnas y, los componentes del medio y sus características, en las filas. Dentro de la Evaluación de Impacto Ambiental, la matriz de Leopold es uno de los métodos más usados para casi cualquier proyecto. Tiene un límite de 100 acciones del proyecto que puedan causar impacto ambiental representando las columnas y 88 componentes del medio y sus características en las filas, dando como resultado un total de 8800 interacciones (citado por IDEA 2013).

1.2.5.4 Método gráfico o de superposición

Este método es usado principalmente en estudios de ordenamiento territorial. Como una de sus principales ventajas representa los impactos en el espacio, lo que representa una base para la selección de alternativas. Este método se basa en la superposición de mapas de la misma área, en la cual cada uno indica un factor ambiental diferente (suelo, agua, economía, fauna,

etc.), donde la zona de delimitación está dada por el proyecto mismo. Este método comúnmente conocido como método de McHarg, permite determinar el área afectada, así como, la densidad de afectación (Jiménez, 2001).

1.2.5.5 Análisis de ciclo de vida

A partir del método de análisis de ciclo de vida (ACV) de un producto se pretende identificar, cuantificar y caracterizar aquellos impactos ambientales generados en cada etapa en la vida de un producto. Tiene por objeto el rediseño de un producto enfocado en el concepto de que toda materia prima y recursos energéticos son limitados. Asimismo, una reducción en el uso de recursos mantiene una reducción en la cantidad de los residuos producidos, pero considerando que estos se seguirán generando, el análisis de ciclo de vida considera su manejo de una forma sustentable y así minimizar los impactos asociados con este manejo (Sánchez et al. 2007). El esquema general del análisis de ciclo de vida se muestra en la Figura 1.3.

El primer trabajo de ACV se realizó en el año 1969 por Midwest Research Institute para Coca Cola a fin de reducir las emisiones al medio ambiente y la reducción en el uso de los recursos.

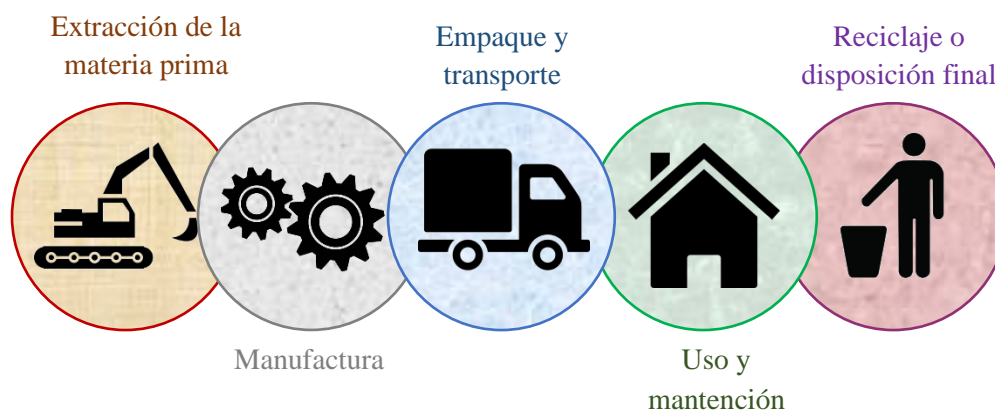


Figura 1.3 Esquema general del análisis de ciclo de vida

Fuente: (Elaboración propia).

Durante la década de los 60s continuaron estudios similares en Europa donde se analizó la energía requerida para la elaboración de diferentes tipos de envases para bebidas, pero no fue hasta 1980 cuando este tipo de análisis se volvió más popular.

Las primeras discusiones científicas acerca del ACV fueron desarrolladas y dirigidas por la organización denominada SETAC, que además en 1993 generó el código de prácticas utilizado en el ACV con la finalidad de homogenizar dichos estudios y que estos contengan la misma metodología (INEEL 2003).

Según la norma ISO 14040:2006 el ACV se define como la metodología cuya función es determinar aquellos impactos potenciales de gran magnitud relacionados con un producto, para lo cual es necesaria la recopilación de aquellas entradas y salidas de importancia en el sistema, a modo de inventario. Posteriormente, se realiza la evaluación de los impactos ambientales relacionados a dichas entradas y salidas, para después hacer la interpretación de resultados del inventario e impactos asociados con los objetivos estudiados. Para la metodología se considera un conjunto de fases relacionadas que casi siempre mantienen un orden, pero que en algunos estudios es posible la omisión de alguna de estas fases.

De acuerdo a lo establecido por la norma ISO 14040:2006, el ACV está estructurado por cuatro fases (Figura 1.4):

1. Definición de los objetivos y el alcance.
2. Análisis del inventario.
3. Evaluación del impacto.
4. Interpretación de resultados.

El ACV es considerado un proceso que se enriquece a medida que se avanza ya que a partir de los resultados de una fase se pueden retroalimentar y mejorar las hipótesis de la fase que le antecede.

El ACV se torna como una herramienta benéfica en cuanto a la toma de decisiones por parte de las directivas de una organización, favoreciendo aquellas decisiones técnicas en cuanto al diseño de un nuevo producto o el rediseño de productos existentes en el mercado a fin de mejorar su desempeño ambiental y aun así cumplir con la función establecida (ISO 2006).

El concepto de desempeño ambiental está integrado por aspectos en cuanto al diseño, los procesos para su fabricación, la forma en que es transportado, la energía utilizada durante su ciclo de vida, recomendaciones en cuanto a su disposición final.

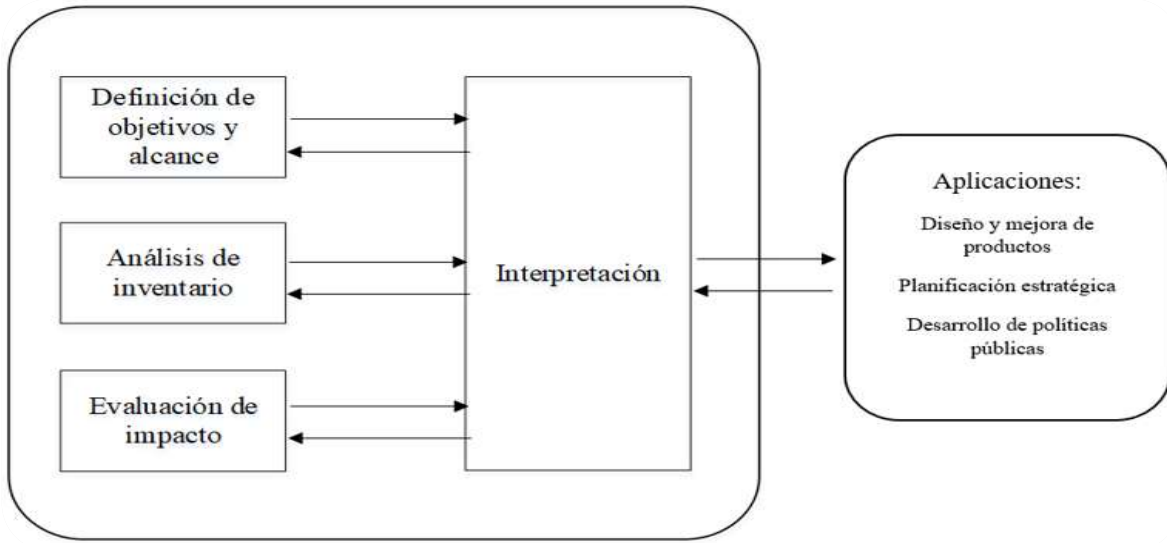


Figura 1.4 Fases del análisis de ciclo de vida

Fuente (ISO 2006).

Por el lado financiero, es de gran utilidad en cuanto a la reducción de costos en la medida en que el rediseño y la mejora de procesos de fabricación, de transporte y distribución logren una mayor eficiencia en cuanto al uso de materias primas, energía e insumos (Sánchez et al. 2007). Además, el análisis de ciclo de vida también permite ventajas comparativas y competitivas en cuanto a las certificaciones ambientales o etiquetas ecológicas.

El análisis de ciclo de vida no solo permite mejorar la protección ambiental y el uso racional de los recursos naturales, sino que también es una herramienta valiosa para las empresas en cuanto a la reducción de costos y una mejora de posicionamiento en el mercado. Asimismo, también es una metodología que estudia los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto a partir de la obtención de la materia prima, pasando por el proceso de producción o manufactura, el uso y la disposición final (CEGESTI, 2001).

1.2.6 Comparativa de las metodologías de impacto ambiental

Las diferentes metodologías tienen como fin identificar los distintos impactos ambientales involucrados durante el desarrollo de algún proyecto, sin embargo, cada una presenta ventajas y desventajas como se muestra en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Ventajas y desventajas de las metodologías de impacto ambiental

Metodología	Ventajas	Desventajas
Listas de verificación.	<ul style="list-style-type: none"> -Utilidad para estructurar las etapas iniciales de una evaluación de impacto ambiental. -Ser un instrumento que apoye la definición de los impactos significativos de un proyecto. -Asegurar que ningún factor esencial sea omitido del análisis. -Comparar fácilmente diversas alternativas del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> -Ser rígidos, estáticos, unidimensionales, lineales y limitados para evaluar los impactos individuales. -No identifican impactos indirectos, ni las probabilidades de ocurrencia, ni los riesgos asociados con los impactos. -No ofrecen indicaciones sobre la localización espacial del impacto. -No permiten establecer un orden de prioridad relativa de los impactos.
Redes de interacción	<ul style="list-style-type: none"> -Las redes son útiles para detectar impactos indirectos o secundarios y para identificar interacciones mutuas en proyectos complejos. 	<ul style="list-style-type: none"> -No proporcionan criterios para decidir la importancia de los impactos. Si la red es muy amplia, genera confusión y dificultad en el manejo de la información.
Matriz de Leopold	<ul style="list-style-type: none"> -Permite la estimación subjetiva de los impactos, mediante la utilización de una escala numérica. -Comparación de alternativas. -Determinación de interacciones. -Identificación de las acciones del proyecto que causan impactos de menor o mayor magnitud e importancia. 	<ul style="list-style-type: none"> -No considera los impactos indirectos de proyecto. -No evita la subjetividad en referencia a la cuantificación de los impactos. -No permite visualizar las interacciones ni los impactos de un factor afectado sobre otros factores.
Método gráfico	<ul style="list-style-type: none"> -Es útil cuando existen variaciones espaciales de los impactos. 	<ul style="list-style-type: none"> -No útil cuando no existe la variación espacial.
Análisis de ciclo de vida	<ul style="list-style-type: none"> -Favorece a las decisiones técnicas en cuanto al desempeño ambiental y el diseño o rediseño de productos y servicios. -Obtención de información ambiental para facilitar toma de decisiones por parte de las directivas de una organización. -Herramienta de marketing al implementar certificaciones ambientales o etiquetas ecológicas. -Herramienta integral para la reducción de costos de las empresas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Nivel de complejidad elevado debido a las necesidades sistemáticas. -Poca disponibilidad de base de datos e inventarios del proceso estudiado. -Tiempo requerido para realizar el ACV. -Inexactitud, debido a la proximidad de los datos recopilados en las fases del proceso.

Fuente: (Elaboración propia basada en Jiménez 2001, CEGESTI 2001, ISO 2006, IDEA 2013)

1.2.7 Energías renovables.

1.2.7.1 Concepto

Las energías renovables son aquellas fuentes que producen energía de una manera constante, y en la cual la energía consumida es renovada continuamente, por lo que su uso se vuelve ilimitado (De Juana et al. 2008). Algunas fuentes de energía renovable son la hidráulica, la geotérmica, la solar, la nuclear y la eólica.

1.2.7.2 Energía Hidroeléctrica

El agua tiene la capacidad de almacenar energía dependiendo de su movimiento (energía cinética) y de su posición dentro del campo gravitatorio (energía potencial). Para incrementar la altura de la posición del agua, se crean represas con la finalidad de aumentar la energía potencial de la misma. Posteriormente mediante el uso de una salida controlada se convierte en energía potencial aprovechada por turbinas hidráulicas, que la transforman en energía mecánica con la cual se mueven generadores, obteniendo así la electricidad (De Juana et al. 2008).

1.2.7.3 Energía Geotérmica

La energía geotérmica es aquella energía originada por el vapor a presión o de agua caliente almacenada en el subsuelo, la cual se aprovecha de forma directa como fuente de calefacción o de forma indirecta para la generación de electricidad a través de plantas geotérmicas (Jiménez 2001).

1.2.7.4 Energía Solar

El sol emite radiación electromagnética de manera constante, parte de la cual llega a la Tierra en forma de luz y calor. La energía solar en forma de calor puede aprovecharse directamente en forma de calefacción, o de forma indirecta para calentar agua a fin de convertirla en vapor y usarla en plantas termoeléctricas. La energía solar en forma de luz es aprovechada mediante paneles fotovoltaicos para ser transformada en electricidad (Roldan 2013).

1.2.7.5 Energía Nuclear

Para la generación de energía nuclear se utiliza la fisión, durante la cual el núcleo se fragmenta dando origen a nuevos núcleos, y un nuevo reacomodo de neutrones y protones

que libera una cantidad de energía mayor a la proveniente de la combustión química. Esta energía es aprovechada por las termoeléctricas aprovechando el calor para producir vapor a altas temperaturas y generara electricidad (Jiménez 2001).

1.2.7.6 Energía Eólica

Los vientos son producidos por los movimientos de masas de aire resultado de los gradientes térmicos y barométricos (Domínguez 2002). El sentido de movimiento del aire esta dado de las zonas de presión mayor a aquellas de presión menor, y mientras mayor sea esta diferencia, mayor será la velocidad del viento (Jiménez 2001).

Las velocidades del viento son aprovechadas para mover dispositivos comúnmente llamados aerogeneradores, los cuales utilizan esta fuente de energía para transformarla en energía mecánica que a su vez que será convertida en energía eléctrica mediante el uso de generadores eléctricos.

1.2.7.7 La energía eólica en México

México es un país que cuenta con las condiciones idóneas para la generación de energía eléctrica mediante el uso de aerogeneradores. En el año de 1980 se realizaron los primeros estudios acerca del alcance nacional en cuanto a la valoración de las cualidades y distribución de los vientos en el territorio. A partir de entonces sobresalió la región sur del istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca, donde la velocidad media anual del viento está por encima de los 10 m/s, mientras que en el mundo se aprovechan vientos promedio de 6.5 m/s para la generación de energía eléctrica. El viento en el istmo es estable en comparación con otros, con un alto porcentaje de horas anuales por lo cual el potencial energético se considera como excelente. Al igual de favorables son las condiciones topográficas, que permiten la instalación de los parques eólicos (Juárez y León 2014).

En la Figura 1.5 se muestra la aportación y la evolución de la energía eólica dentro de las fuentes de energía renovables durante el período de 2003-2013.

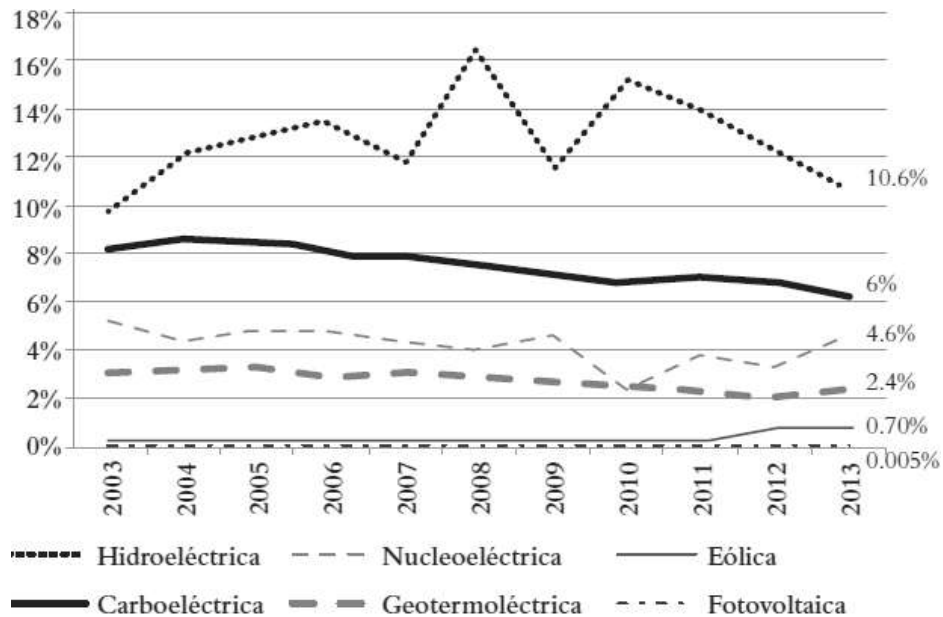


Figura 1.5 México: evolución y participación de las renovables, 2003-2013

Fuente: extraído de Larios 2015

1.2.8 Aerogeneradores

1.2.8.1 Concepto y clasificación

Un aerogenerador es aquella maquina formada por una aeroturbina y un generador eléctrico. La aeroturbina es la encargada de convertir la energía cinética del viento en energía mecánica rotacional, la cual es transformada a su vez en energía eléctrica por el generador (Jiménez 2001).

La energía cinética del viento puede ser transformada en energía mecánica rotacional, de forma directa cuando es adquirida por superficies que se encuentran en contacto con el viento y ensambladas con motores mecánicos, y cuando interviene algún elemento para su conversión, se le denomina indirecta.

Las aeroturbinas constituyen el elemento principal para los sistemas de aprovechamiento de la energía. Esta aeroturbina está constituida por un conjunto de aspas que se mueven al ser atravesadas por las corrientes de aire. Existe una gran variedad de diseños de aeroturbinas, pero se pueden clasificar en relación a la posición del eje del rotor, en eje vertical y eje horizontal (Jiménez, 2001).

Dentro de la clasificación de aerogeneradores de eje vertical se encuentran:

- Aerogenerador tipo Savonius.
- Aerogenerador tipo Giromill.
- Aerogenerador tipo Windside.
- Aerogenerador tipo Darrieus.

El aerogenerador de eje horizontal es el más usado por motivos de eficiencia y rendimiento, en el cual, el eje del rotor se encuentra paralelo al suelo. Este tipo de aerogeneradores tienen el eje del rotor soportado en una torre y cuentan con un sistema de orientación para adaptarse a los cambios de dirección del viento (Jiménez, 2001).

Los aerogeneradores de eje horizontal pueden subdividirse por el número de palas empleadas (una, dos o tres palas), por la orientación respecto a la dirección del viento (barlovento o sotavento) y por el tipo de construcción de la torre (torre atirantada, de celosía o tubular).

1.2.8.2 Partes principales de un aerogenerador.

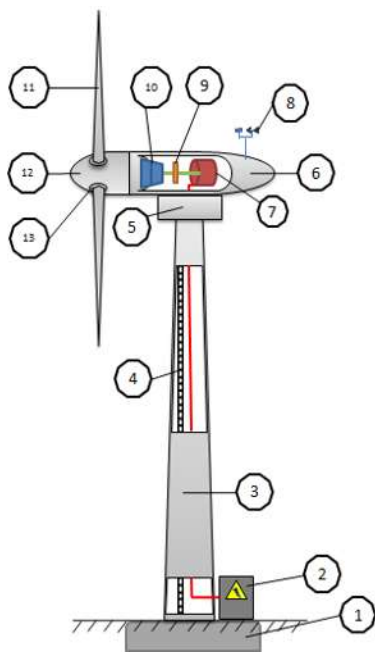


Figura 1.6 Partes de un aerogenerador

Partes que conforman un aerogenerador

(Figura 1.6):

- 1.- Cimientos
- 2.- Conexión a la red eléctrica
- 3.- Torre
- 4.- Escalera de acceso
- 5.- Sistema de orientación
- 6.- Góndola
- 7.- Generador
- 8.- Anemómetro
- 9.- Freno
- 10.- Caja de cambios
- 11.- Pala
- 12.- Rueda del rotor
- 13.- Incliner de la pala

Fuente: (Elaboración propia basado en Asociación danesa de la industria eólica 2003)

Cimientos: Existen diferentes cimentaciones, y se necesita una gran cantidad de hormigón armado para las grandes turbinas eólicas. Los cimientos pueden ser en forma de muelle y campana para cada pata en torres de celosía; diferentes tipos de anclajes para torres atirantadas, y para torres tubulares se usan cimientos de muelle, muelle con cilindros concéntricos o bloque en el suelo (Nelson 2009).

Conexión a la red eléctrica: Para conectarse a red eléctrica de distribución general, los aerogeneradores están conectados a subestaciones transformadoras de tensión en función de las características de las redes existentes y de la capacidad de generación de los parques eólicos.

Torre: Estas funcionan como soporte para la góndola y el rotor del aerogenerador. Comúnmente suelen usarse torres tubulares de acero (tronco-cónicas), hechas en secciones de 20 a 30 m y unidas mediante tornillos en el área de las bridas ya que presentan mayor seguridad en el acceso para los técnicos de mantenimiento, aunque por otro lado tienen la desventaja de tener un costo más elevado que las torres de celosía (Asociación danesa de la industria eólica 2003).

Escalera de acceso: estas estructuras están en el interior de las torres tubulares y facilitan el acceso a la góndola para trabajos de mantenimiento.

Sistema de orientación: este sistema funciona gracias a las señales que proporciona una veleta, la cual le dice la dirección del viento y le indica al sistema hacia que parte tiene que orientarse a fin de captar la mayor cantidad de viento posible y así elevar la eficiencia de generación (Asociación danesa de la industria eólica 2003).

Góndola: este elemento está compuesto de una carcasa y de un bastidor sobre el cual se acoplan los elementos mecánicos principales como el generador, el freno, la caja multiplicadora, etc. y que está fijada sobre la torre del aerogenerador (Nelson 2009).

Generador: este dispositivo convierte la energía mecánica de las palas en energía eléctrica. La principal diferencia con los generadores convencionales, es que los aerogeneradores se encuentran conectados a la red eléctrica. Esto se debe a que el generador debe trabajar con una fuente de potencia que suministra una potencia mecánica muy variable (Asociación danesa de la industria eólica 2003).

Actualmente son usados principalmente tres tipos de generadores, dependiendo el tipo de turbina, estos pueden ser generadores de corriente continua, generadores de corriente alterna síncronos y generadores de corriente asíncronos (Asociación danesa de la industria eólica 2003).

Anemómetro: es un elemento utilizado para medir la velocidad del viento.

Freno: el sistema de frenado es electromagnético y regulado por el controlador para detener o limitar las revoluciones por minuto con vientos muy veloces (Nelson 2009).

Caja de cambios: es el subsistema encargado de acoplar la velocidad de giro proveniente del eje del rotor y transmitir esta rotación al generador eléctrico (Jiménez 2001).

Pala: las palas modernas de los grandes aerogeneradores están fabricadas a partir de resina reforzada con fibra de vidrio. Existe la posibilidad de usar fibra de carbono o kevlar, sin embargo, resulta poco rentable en aerogeneradores de grandes dimensiones. Otra opción es el uso de aleaciones de acero y de aluminio, pero presentan problemas por su peso y la fatiga del material. El desarrollo de nuevos materiales basados en madera, madera-epoxy y madera-fibra-epoxy aún no han entrado en el mercado (Asociación danesa de la industria eólica, 2003).

Rueda del rotor: conocido simplemente como rotor, es aquel conjunto de elementos externos a la góndola que se mantienen en rotación por la acción de las hélices y que se encuentra acoplado a un eje. Este elemento se encarga de convertir la energía del viento en un movimiento rotacional necesario en los aerogeneradores (Jiménez 2001).

Inclinación de la pala: También llamado como sistema de paso variable, tiene el objetivo de variar el ángulo de ataque de las palas para modificar el rendimiento aerodinámico y por ende la potencia del aerogenerador. Este mecanismo funciona por medio de hidráulica (Asociación danesa de la industria eólica, 2003).

1.2.9 El acero, concepto, características y clasificación

El acero es una aleación de hierro (Fe) y carbono (C). Generalmente el contenido de carbono en el acero puede variar entre 0.03% y 1.075% en peso de su composición, dependiendo del grado. El porcentaje de carbono tiene influencia muy alta en las propiedades mecánicas de los aceros (ALACERO 2019).

Dentro de las características más importantes del acero podemos encontrar las siguientes:

- Ductilidad. Es la propiedad del acero de absorber sobrecargas. Esta propiedad puede ser medida en base al porcentaje de alargamiento que puede sufrir el material antes de sufrir ruptura.
- Maleabilidad. Es la cualidad de los aceros a ser comprimidos o aplanados.
- Dureza. Es aquella propiedad de oposición que presenta el acero para resistir el desgaste, la erosión o la deformación plástica.
- Tenacidad. Cualidad del acero para absorber energía en la zona plástica (Ma San 2013).

El acero puede clasificarse de acuerdo a su composición, su resistencia o sus características tal como se muestra en la Figura 1.7.

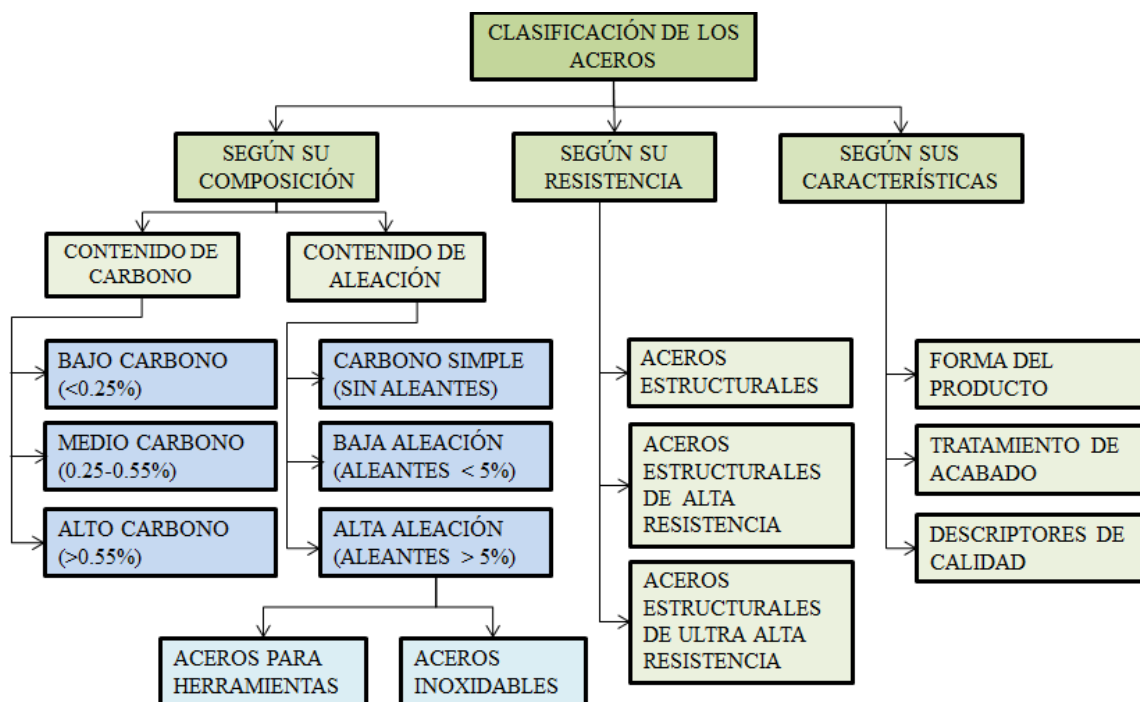


Figura 1.7 Clasificación del acero

Fuente: (Elaboración propia basado en Bermejo, 2018)

1.2.10 Reservas mundiales de Hierro

El hierro es el metal más abundante en la superficie del planeta. Es difícil encontrarlo en su forma pura ya que reacciona muy fácilmente con otros elementos. Se encuentra principalmente en minerales compuestos por óxidos. Comúnmente extraído en forma de hematita, limonita, magnetita y siderita. La hematita (Fe_2O_3) puede llegar a contener un 70% de hierro, pero generalmente se encuentra el 40 y 60% (SE, 2013).

Basados en la información publicada por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés), se estiman en el año 2015 reservas brutas del mineral de hierro por un total de 190,000 millones de toneladas métricas (t), lo que equivale a 85,000 Mt de hierro contenido. En la Figura 1.8 se presenta la distribución porcentual de las reservas mundiales de mineral de hierro en los principales países poseedores de ellas. Destacan las reservas de Australia, que posee un 29% del total de las reservas mundiales (54 Mt), Rusia con 14% (25 Mt), Brasil y China, ambas con una participación de 12% (23 Mt) (COCHILCO 2016).

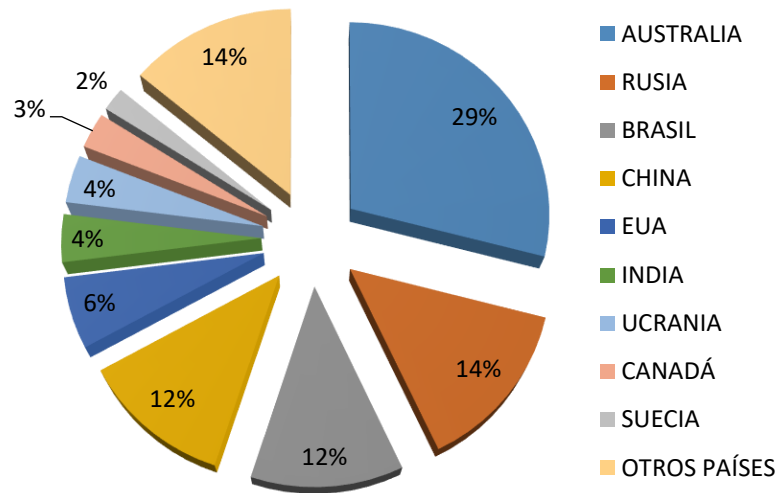


Figura 1.8 Participación por país en las reservas mundiales de mineral de hierro en 2015

Fuente: (Elaboración propia basado en USGS 2018)

1.2.11 Impacto ambiental de la extracción de mineral Hierro

Para lograr un desarrollo y satisfacción de las necesidades del hombre es necesaria la extracción de materiales como oro, plata, hierro, carbón, petróleo, etc. sin embargo esta actividad presenta grandes impactos negativos al ambiente ya que se tratan de recursos no renovables.

Los impactos ambientales más importantes en el área continental se ven reflejados en el suelo, la flora y la fauna asociada; en segundo posición el ocasionado a las aguas subterráneas y, el tercer lugar la contaminación de las riveras de las ramblas a través de las cuales se produce el flujo de agua (García 2004).

Uno de los principales impactos ambientales asociados a los jales productos de la extracción minera, es la dispersión de los mismos en el entorno. El drenaje ácido es uno de los impactos asociados a los jales en las zonas lluviosas, así como la dispersión de estos a través de escurrimientos superficiales, también denominado dispersión hídrica. En las zonas áridas esta dispersión tiene su origen por el viento (dispersión eólica) (Romero et al. 2008).

La producción de hierro y acero en México representa una mayor fuente de emisiones de GEI respecto a otros productos minerales metálicos como se muestra en la Figura 1.9.

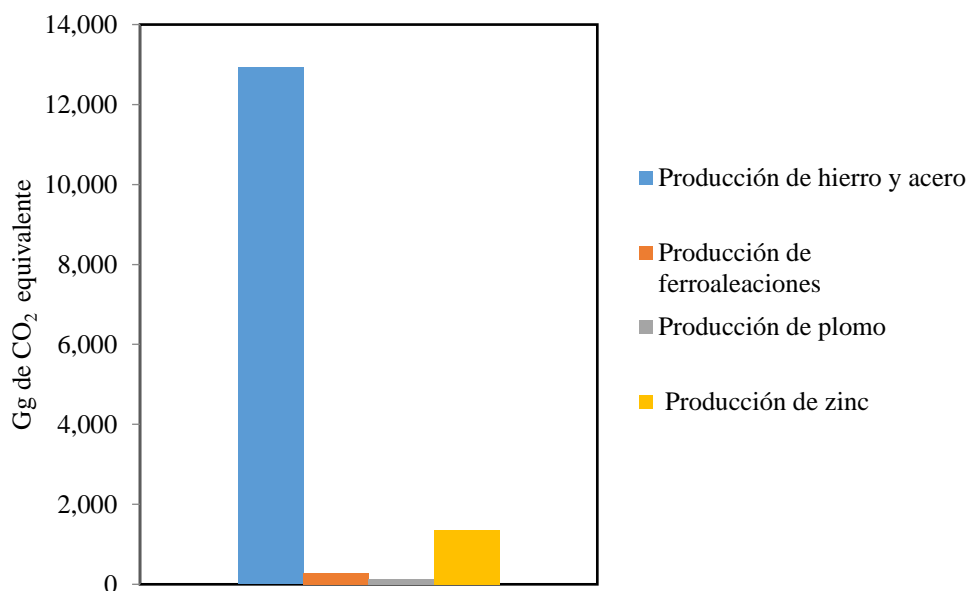


Figura 1.9 Emisiones de equivalente de CO₂ en México por procesos de la industria de los metales en 2015

Fuente: (Elaboración propia con base en INECC 2018).

La dispersión hídrica no solo contamina las masas de agua continentales con partículas ricas en metales, sino que también pueden verse afectadas las aguas en zonas marinas. Además, está el riesgo producido por los hundimientos en zonas de galerías afectadas debido a los movimientos sísmicos (García 2004).

1.2.12 Producción mundial de acero

La siderurgia y el acero están en la base del desarrollo y crecimiento económico, en 1900 en el mundo se producían 28 millones de toneladas, para el 2001 se tuvo una producción de 851 millones de toneladas y en 2011 se alcanzó una producción de 1,514 millones de toneladas, se considera que la industria siderúrgica ha crecido debido a que el acero se utiliza para la fabricación de muchos de los productos que se utilizan en el mundo (UNESID 2013).

La World Steel Association (Worldsteel) recientemente recolectó la producción bruta de acero de 64 países, dichos países producen aproximadamente el 99% del total de la producción en 2017(worldsteel 2019). En el año de 2018 de enero a noviembre la región que

más produjo acero fue Asia con un total de 104.5 millones de toneladas como se observa en la Figura 1.10.

De acuerdo a worldsteel (2019) en lo que respecta a los países de las regiones de Norteamérica y Sudamérica, el mayor productor de acero fue Estados Unidos, en contraste con Paraguay que fue el que menos produjo acero, como se observa en la Tabla 1.4.

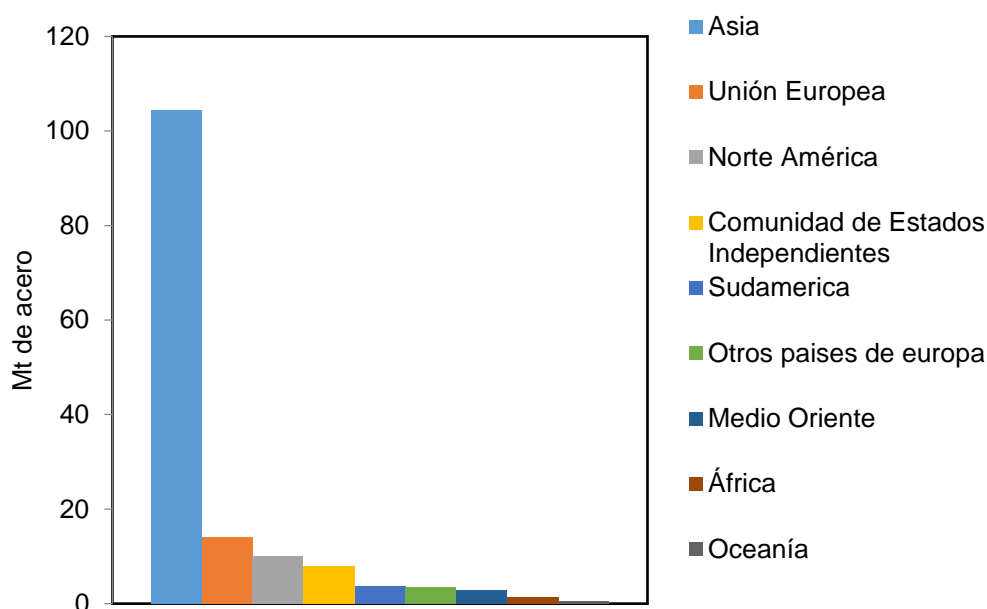


Figura 1.10 Producción bruta mundial de acero por regiones en el año 2018

Fuente: (Elaboración propia con base en worldsteel 2019).

Tabla 1.4 Principales países productores de acero en América en 2018

País	Producción bruta de acero (Mt)
Canadá	11,924
Cuba	202
El Salvador	92
Guatemala	273
México	18,541
Estados Unidos	79,156

Argentina	4,806
Brasil	32,090
Chile	1,050
Colombia	1,131
Ecuador	532
Paraguay	22
Perú	1,114
Uruguay	53
Venezuela	126

Fuente: (Elaboración propia con base en worldsteel 2019).

1.2.13 Impacto ambiental en la producción de acero por la industria siderúrgica

La producción de metales da como resultado la emisión de gases no deseados, directamente durante la extracción y el procesamiento, e indirectamente por el consumo de las materias primas y servicios, tales como la generación de energía eléctrica y fabricación de reactivos y explosivos (Norgate et al. 2006). A continuación, se muestra en la Tabla 1.5 el impacto ambiental por la producción de metales de acuerdo al proceso y en la Figura 1.11 se muestran las emisiones netas de CO₂ equivalente en la producción de hierro y acero en México durante el período 2000-2015.

Tabla 1.5 Impacto ambiental en la producción de metales

Metal	Proceso	Energía bruta requerida (MJ/kg)	Calentamiento global (kg CO ₂ e/kg)	Potencial de acidificación (kg SO ₂ e/kg)	Carga de residuos sólidos (kg/kg)
Níquel	Fundición instantánea y refinación Sherritt-Gordon.	114	11.4	0.13	65
	Presión de lixiviación ácida y SX / EW	194	16.1	-----	351
Cobre	Fundición / conversión y electro-refinación.	33	3.3	0.04	64
	Lixiviación en pilas y SX / EW.	64	6.2	-----	125
Plomo	Alto horno	20	2.1	0.022	14.8

	Proceso de fundición imperial	32	3.2	0.035	15.9
Zinc	Proceso electrolítico	48	4.6	0.055	29.3
	Proceso de fundición imperial	36	3.3	0.036	15.4
Aluminio	Refinación Bayer, fundición Halle-Heroult.	211	22.4	0.131	4.5
Titanio	Procesos Becher y Kroll.	361	35.7	0.23	16.9
Acero	Ruta integrada de (alto horno y horno de oxígeno básico)	23	2.3	0.02	2.4
Acero Inoxidable	Horno eléctrico y descarburación	75	6.8	0.051	6.4

Fuente: (Elaboración propia con base en Norgate et al., 2006).

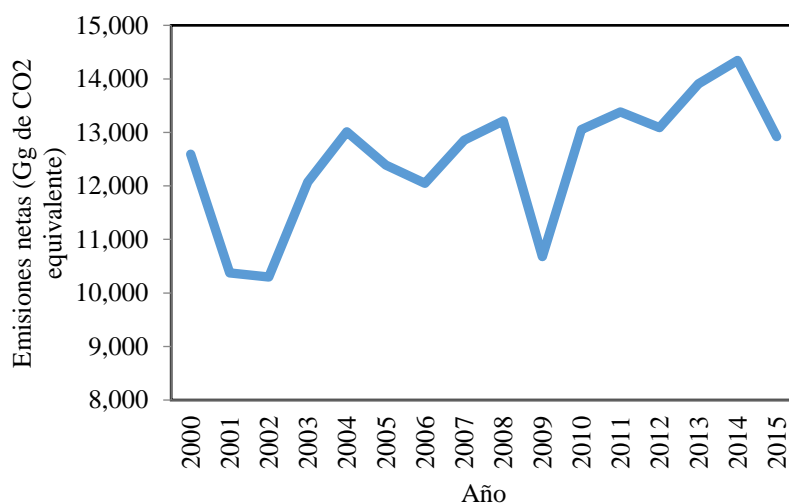


Figura 1.11 Emisiones netas de CO₂ equivalente en la producción de hierro y acero en México durante el período 2000-2015

Fuente: (Elaboración propia basada en datos del INECC 2018).

1.2.14 Reciclaje de acero

El acero es el material más reciclado en el mundo, y esto ha venido sucediendo desde mucho antes de que existiera la actual conciencia ecológica. El proceso de fabricación del acero requiere grandes cantidades de chatarra y que los hornos eléctricos trabajen casi por completo con chatarra.

El acero es un material 100% reciclable y se puede reciclar infinitas veces para la fabricación de nuevos productos conservando las propiedades del acero original, desde 1900 se estima que se han reciclado en el mundo 22,000 millones de toneladas de acero. El acero tiene una recuperación fácil y asequible para su reciclado debido a su propiedad magnética y el alto valor comercial de la chatarra garantiza un proceso viable económicamente. Hoy en día el acero es el material más reciclado en el mundo, siendo recicladas 650 Mt de acero anualmente (worldsteel 2019).

Anteriormente la producción de acero mediante horno eléctrico se utilizaba para la fabricación de aceros especiales, posteriormente se comenzó a utilizar como un proceso de alta eficiencia, basado en el reciclaje masivo de chatarra (UNESID 2013), como se muestra a continuación en la Figura 1.12, Asia es la región que más implementó el método de producción de acero en horno eléctrico a partir de chatarra.

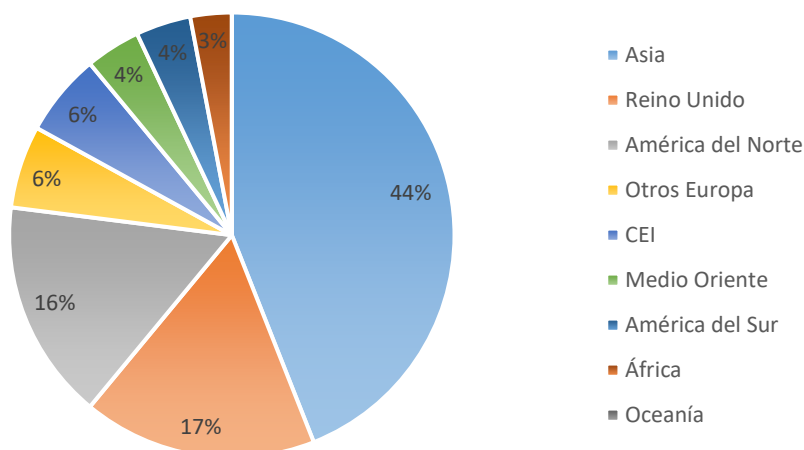


Figura 1.12 Producción de acero en horno eléctrico a partir fundamentalmente de chatarra por regiones 2011

Fuente: Elaboración propia con base en UNESID 2013)

En México el porcentaje de scrap de acero importado en comparación con la importación mundial ha aumentado y el exportado ha disminuido en el periodo 2007-2016 como se puede observar en la Figura 1.13.

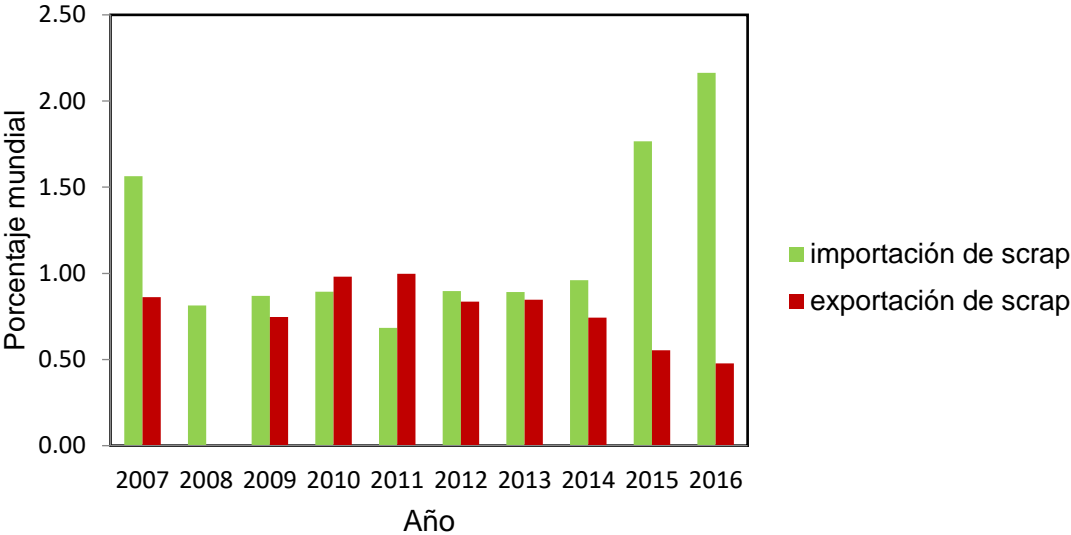


Figura 1.13 Exportación e importación de scrap de acero en México a nivel mundial

Fuente: (Elaboración propia basada en datos de worldsteel 2017).

1.3 ANTECEDENTES

Una investigación de un campo de aerogeneradores terrestres ubicado en Dernah, en la costa este de Libia, en el cual se utilizó la metodología del ACV de manera completa (de la cuna a la tumba) y con el cual se estimaba encontrar emisiones de 10.42 g/kWh de CO₂, 0.02713 g/kWh de SO₂, 0.03823 g/kWh de NO_x, 0.0001474 g/kWh de N₂O, 0.0001065 g/kWh de CH₄, 0.0003469 g/kWh de COVDM (compuestos orgánicos volátiles distintos del metano) y 0.0112237 g/kWh de CO. Los resultados obtenidos confirmaron una producción de aproximadamente 10 g/kWh de CO₂ que, comparado con los combustibles fósiles u otras fuentes de energía renovable, tiene una menor emisión por kWh de electricidad. Reciclando los materiales de la turbina eólica las emisiones específicas de CO₂ equivalente a 4.65 g/kWh de la energía generada. La cantidad de combustible ahorrado es 85,700m³ por año (Al-Behadili y El-Osta 2015). La diferencia principal entre esta investigación, es la localización, que afecta las condiciones de operación, la cantidad y la potencia de los aerogeneradores (37 aerogeneradores de 1.65 MW), cuando en el presente estudio, La Venta I cuenta con 7 aerogeneradores de 225 kW cada uno.

De acuerdo a un estudio en el que se desarrolló un nuevo y simple método directo para el cálculo de las emisiones de CO₂ e por kWh producido por el ciclo de vida de 4 campos de aerogeneradores representativos en China. El análisis de ciclo de vida se enfocó en el parque de aerogeneradores como la unidad funcional básica en lugar de los aerogeneradores en forma individual. Los resultados de este estudio mostraron que las plantas de aerogeneradores tienen una intensidad de emisión en el tiempo de vida de 5.0-8.2 g de CO₂ e / kWh de electricidad. También determinó que la fase de producción contribuye a la mayoría de las emisiones de CO₂, pero si pasa por un proceso de reciclaje después del desmantelamiento, estas emisiones pueden reducirse a cerca de la mitad. También sugiere que se pueden evitar grandes cantidades de CO₂ durante la fase de transporte, si se usan rutas alternativas de transportación (Wang y Sun 2011). Sin embargo, en esta investigación, el campo de aerogeneradores se establece como la unidad básica funcional en lugar de cada aerogenerador de forma individual, además de que estos campos contienen diferentes modelos de aerogeneradores con diferentes potencias según la planta (1.65 MW, 3.0 MW y 850kW). Asimismo, la localización de cada planta es diferente (Onshore y Offshore), y, en consecuencia, las condiciones de operación no son iguales, por lo que las eficiencias de los aerogeneradores implicados también tendrán valores diferentes a los del presente trabajo realizado en La Venta I, con aerogeneradores Onshore de 225 kW.

De acuerdo al caso de estudio para dos aerogeneradores que fueron utilizados en México y con la finalidad de determinar el impacto ambiental de los diferentes materiales y energía utilizada para la fabricación de sus componentes, durante su instalación y hasta su disposición final, sin considerar las fases de transporte ni de operación, en ambos aerogeneradores

estudiados se concluyó que la fase de mayor contaminación fue la de manufactura con un 52%, por otro lado en la fase de instalación se tuvo un impacto poco significativo con un 1% y en la fase de disposición final un aproximado de 47%. Una vez realizado el análisis del ciclo de vida se identificó que los componentes que generan mayor impacto ambiental fueron la góndola y la torre de los aerogeneradores, dicho análisis es de importancia para identificar los materiales que pueden ser sustituidos para la fabricación de aerogenerador, con el propósito de utilizar la menor cantidad de energía durante su fabricación y a la vez que se reduzca el impacto ambiental, así como promover la innovación tecnológica y la producción sostenible de energías renovables (Vargas et al. 2014). A pesar de ser una investigación en México, esta se basa en la comparación de los impactos ambientales obtenidos mediante el ACV de dos turbinas de mayor potencia (2MW), la diferencia entre la presente investigación que se plantea realizar es que el análisis es sobre el campo de aerogeneradores La Venta I, la cual contiene 7 aerogeneradores de 225 kW, sin dejar de lado el impacto ambiental total del campo de aerogeneradores completo, así como las fases de transporte y operación.

Así mismo, se comprobó en la investigación realizada para los países de China, Dinamarca y Alemania, mediante la aplicación de la metodología del análisis del ciclo de vida, que los mayores impactos ambientales generados fueron en la fase de manufactura con un 84% y los menores impactos en la fase de instalación y de transportación, y aunque la fase de disposición final sólo representó un 3.1%, es una fase de importancia para el ambiente ya que al no considerar el reciclaje del material en la disposición final se incrementan en un 43.3% la energía requerida y las emisiones de CO₂e hasta en un 43.9%. También se identificó que los aerogeneradores con mayor potencia y engranados en comparación con los de menor potencia y sin engranes, produjeron emisiones de CO₂e de 9.73 g/kWh a 8.82 g/kWh respectivamente. Por lo cual es importante reconsiderar los materiales utilizados para la fabricación y la potencia de los aerogeneradores, así como la manera en la que se realizará la disposición final de los aerogeneradores, siendo estas sendas con roles importantes para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (Guezuraga et al. 2011). Pese a que el estudio utiliza el análisis de ciclo de vida, este se basa solo en la comparación de dos tipos de aerogeneradores diferentes tanto en su funcionamiento (gearless y gearbox), como en la potencia generada por los mismos (1.8 MW y 2 MW). Además de los diferentes países implicados para la manufactura de los mismos (Alemania, Dinamarca y China), la diferencia con el presente trabajo radica en que la potencia de los aerogeneradores es de 225 kW de origen danés.

1.4 CONCEPTUALIZACIÓN

1.4.1 Problema de investigación

Pese al creciente desarrollo de la infraestructura para la energía eólica, se desconocen aquellos impactos ambientales vinculados al ciclo de vida del campo de aerogeneradores La Venta I, Oaxaca.

1.4.2 Pregunta de investigación

¿Cuál es el impacto ambiental ocasionado por el campo de aerogeneradores La Venta I, Oaxaca?

1.4.3 Hipótesis

Se cree que la energía eólica es una de las formas de energía más limpia durante la fase de operación, sin embargo, los principales impactos ambientales generados tienen su origen en las fases de obtención de la materia prima, manufactura y disposición final, siendo esta última la de mayor impacto para México, ya que los aerogeneradores instalados en La Venta I son de origen danés.

1.4.4 Objetivos

Objetivo general

- Determinar el impacto ambiental ocasionado por el campo de aerogeneradores La venta I en Oaxaca mediante la aplicación del ACV (Análisis de Ciclo de Vida).

Objetivos específicos

- Determinar el inventario total de los componentes de cada aerogenerador.
- Determinar los límites, las entradas y las salidas del sistema para la aplicación del ACV.
- Cuantificar el impacto ambiental mediante la energía total utilizada y la cantidad producida de CO₂ equivalente.

1.4.5 Justificación

En el año 2016 se tenían 3,527 MW operando en México, con un total de 1,935 aerogeneradores. Para septiembre de 2018, había 4,176 MW en 49 parques distribuidos a través de 12 estados. Actualmente 2.5% de la energía eléctrica es abastecida por la energía eólica y se estima que para el 2020 la energía eólica abastecerá del 8-12% de la energía eléctrica en el mundo (AMDEE 2019).

Para el año 2015 en el informe bienal de las emisiones de GEI para México reportadas en las Comunicaciones Nacionales, de un total de 665, 304 Gg de CO₂ equivalente, el sector energético aportó el 61.2% lo que equivale a 406, 858 Gg de CO₂ equivalente (Sanyes et al. 2016).

La cuantificación en el consumo de los insumos y energía en la producción, operación y desmantelamiento de los campos de aerogeneradores, permite realizar una evaluación de los impactos ambientales implicados a fin de optimizar los procesos y obtener energía por medio de fuentes menos contaminantes.

Esta propuesta tiene su enfoque en el estudio del uso de recursos energéticos y materias primas en el campo de aerogeneradores La Venta I, en Juchitán de Zaragoza, Oaxaca.

1.5 PLAN GENERAL DE TRABAJO

Fase I. Etapa de conceptualización.

Actividad 1. Delimitación del tema de investigación.

Fase II. Realización del análisis de ciclo de vida.

Actividad 1. Definición de objetivos y alcances.

Actividad 2. Análisis de inventario.

Actividad 3. Evaluación de impacto.

Actividad 4. Interpretación.

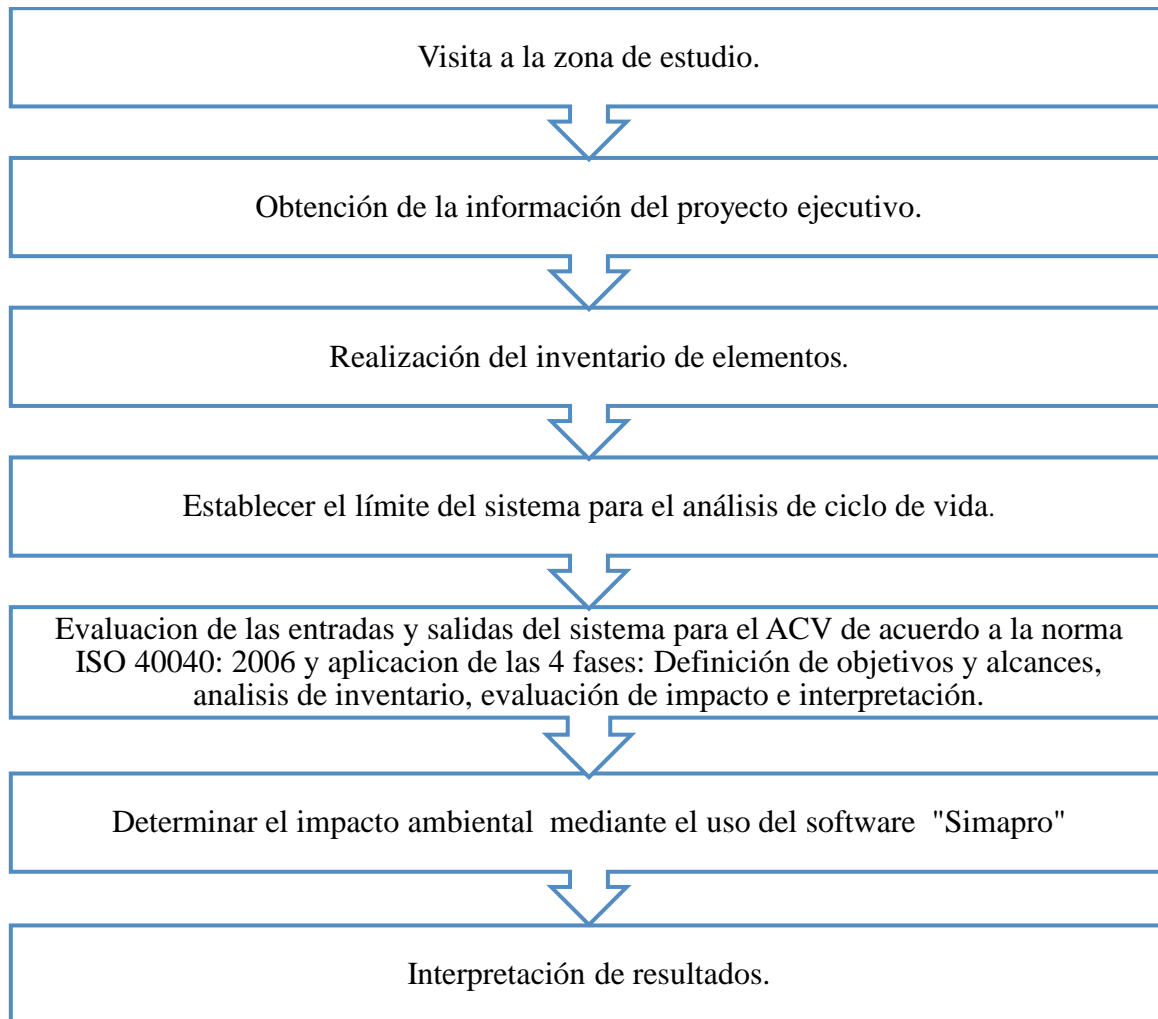
Fase III. Actividades académicas adicionales.

Actividad 1. Participación en congresos.

Actividad 2. Escritura de artículo.

Actividad 3. Escritura de la tesis.

1.6 METODOLOGÍA



826 **Capítulo 2 FUNDAMENTOS DEL ANÁLISIS DE** 827 **CICLO DE VIDA**

828 **2.1 ¿QUÉ ES EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)?**

829

830 El ACV es una herramienta que trata los impactos ambientales ocasionados por el sistema de
831 un producto en todas sus etapas durante su ciclo de vida. El ACV considera el ciclo de vida
832 completo de un producto, desde la extracción u obtención de la materia prima, el proceso de
833 manufactura, el uso del producto y la disposición final del mismo al concluir su vida útil (Las
834 actividades de transporte, empaque, distribución y otras actividades dentro de las fases de
835 ciclo de vida son incluidas también cuando estas tengan un valor representativo).

836 El Análisis de Ciclo de Vida está definido como la compilación y evaluación de las entradas
837 (*inputs*) y salidas (*outputs*) del producto-sistema a lo largo de su ciclo de vida (Gineé *et al*,
838 2004). Las cuales pueden ser definidas como:

- 839 • Entradas: Uso de recursos y materias primas, productos, transporte, energía, etc.,
840 que están presentes en cada etapa del proceso o sistema.
- 841 • Salidas: Son todas aquellas emisiones al aire, suelo y agua, así como los residuos
842 y subproductos presentes en cada etapa del proceso o sistema (IHOBE, 2009).

843 La fase del ACV durante la cual se recopilan y cuantifican las entradas y salidas de un sistema
844 durante el ciclo de vida salidas se conoce como Inventario de Ciclo de Vida (ICV).

845 Existen diferentes enfoques del ACV dentro de los cuales se consideran ciertas fases para el
846 análisis del sistema. Cuando el ACV de un producto incluye todas las entradas y salidas
847 implicadas en los procesos asociados al ciclo de vida del producto, tales como; extracción de
848 materia prima, procesamiento de los materiales para su manufactura en componentes, el uso
849 del producto, y su disposición final o reciclaje es conocido como: “de la cuna a la tumba”.
850 No obstante, cuando las entradas y salidas del sistema se limitan desde la obtención de la
851 materia prima hasta la puesta en el mercado de dicho producto, entonces se le conoce como:
852 “de la cuna a la puerta”.

853

854 Cuando en un ACV solo se consideran las entradas y salidas del sistema productivo (proceso
855 de manufactura), se le denomina: “de la puerta a la puerta”. Sin embargo, existe un nuevo
856 enfoque en el ACV conocido como: “de la cuna a la cuna”, en el cual los elementos de salida
857 en el fin de vida del sistema pueden ser consideradas como materia prima y/o entradas en el
858 mismo sistema o como parte de otro. En la Figura 2.1se pueden apreciar los distintos
859 enfoques del ACV (IHOBE, 2009).

860

861

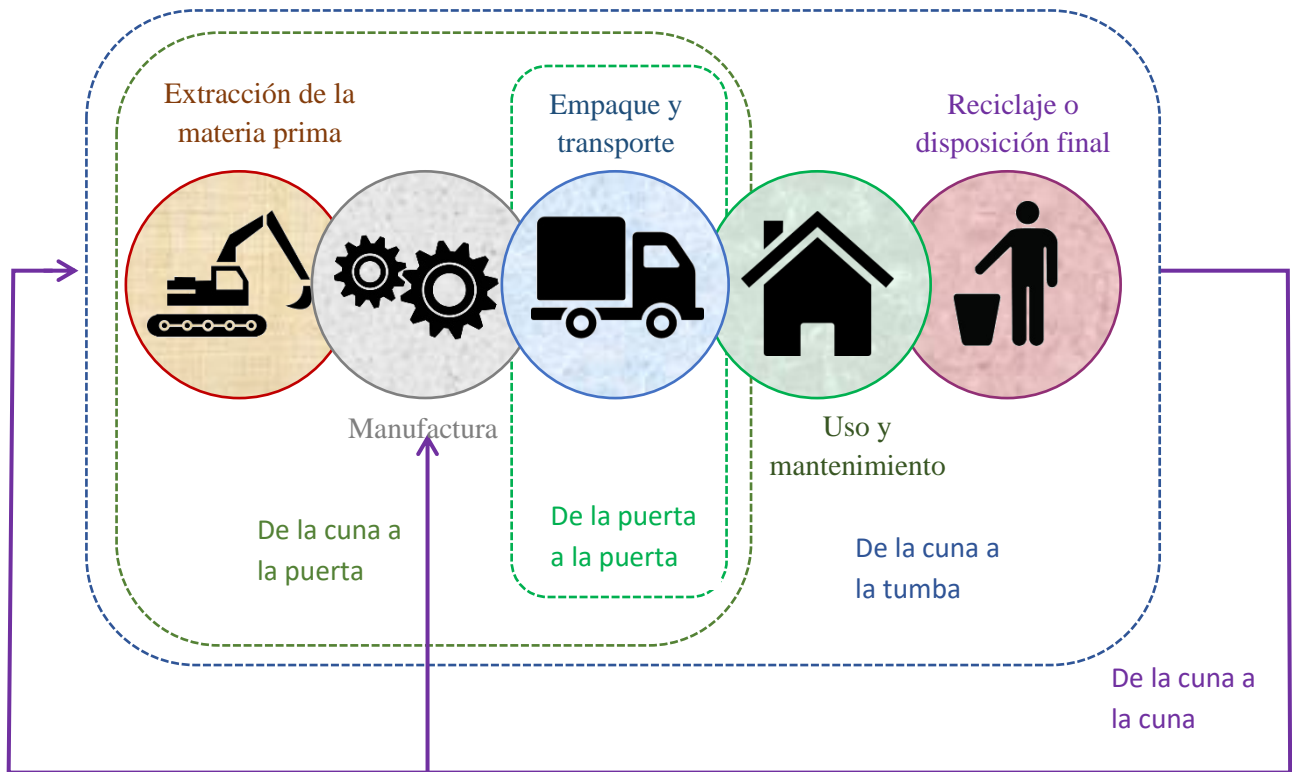


Figura 2.1 Distintos enfoques del ACV

862

863 Fuente: Fuente: Elaboración propia con base en IHOBE, 2009

864

865 2.2 FASES DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

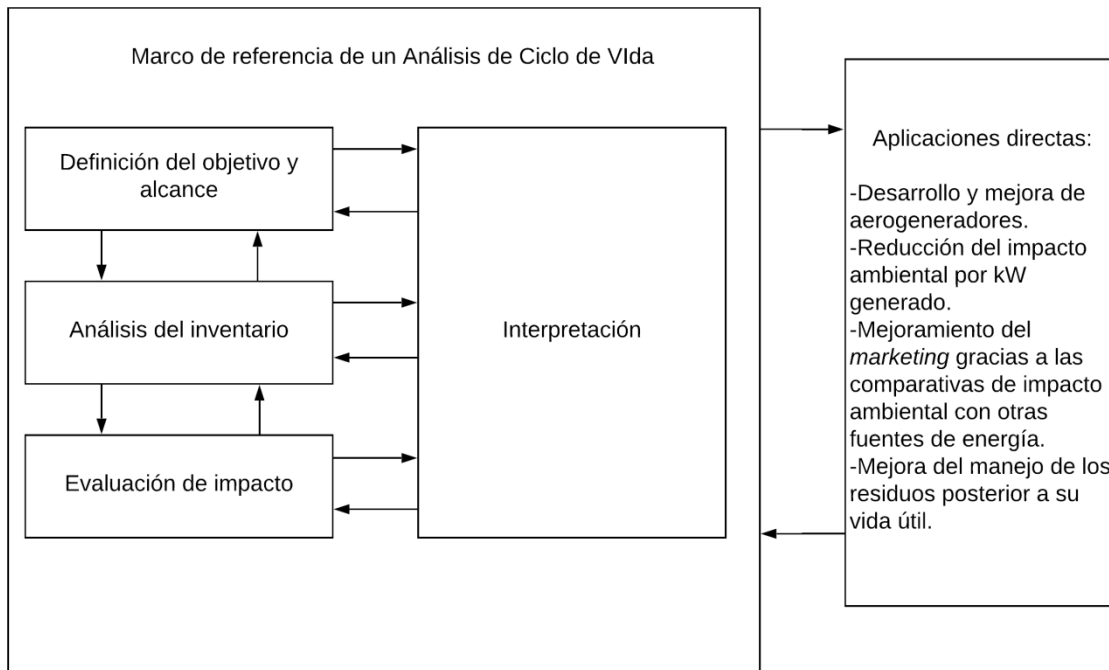
866 De acuerdo a la normativa ISO 14040:2006, se distinguen 4 fases de la metodología del ACV
867 (Figura 2.2):

- 868 • Definición de Objetivos y Alcance
- 869 • Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)
- 870 • Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)
- 871 • Interpretación

872

873

874



875

876

Figura 2.2 Fases del ACV según la norma ISO 14040:2006

877

Fuente: Modificado a partir de ISO, 2006

878

2.2.1. Definición de Objetivos y Alcance

879

880

La fase de definición de objetivos y alcance permite establecer aquello que se va a evaluar y el nivel de detalle del estudio. El ACV puede diferir en cuanto a profundidad y amplitud dependiendo del objetivo del ACV en particular (ISO, 2019).

882

883

884

885

2.2.2. Desarrollo del Inventario de Ciclo de Vida (ICV)

886

887

888

889

890

El inventario de ciclo de vida implica la recopilación de los datos del sistema y los procedimientos de cálculo para cuantificar las entradas (energía y materia prima) y las salidas (productos, residuos y emisiones), los cuales son necesarios para el cumplimiento del objetivo del estudio (ISO 2006).

891

892

893

2.2.3. Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV)

894

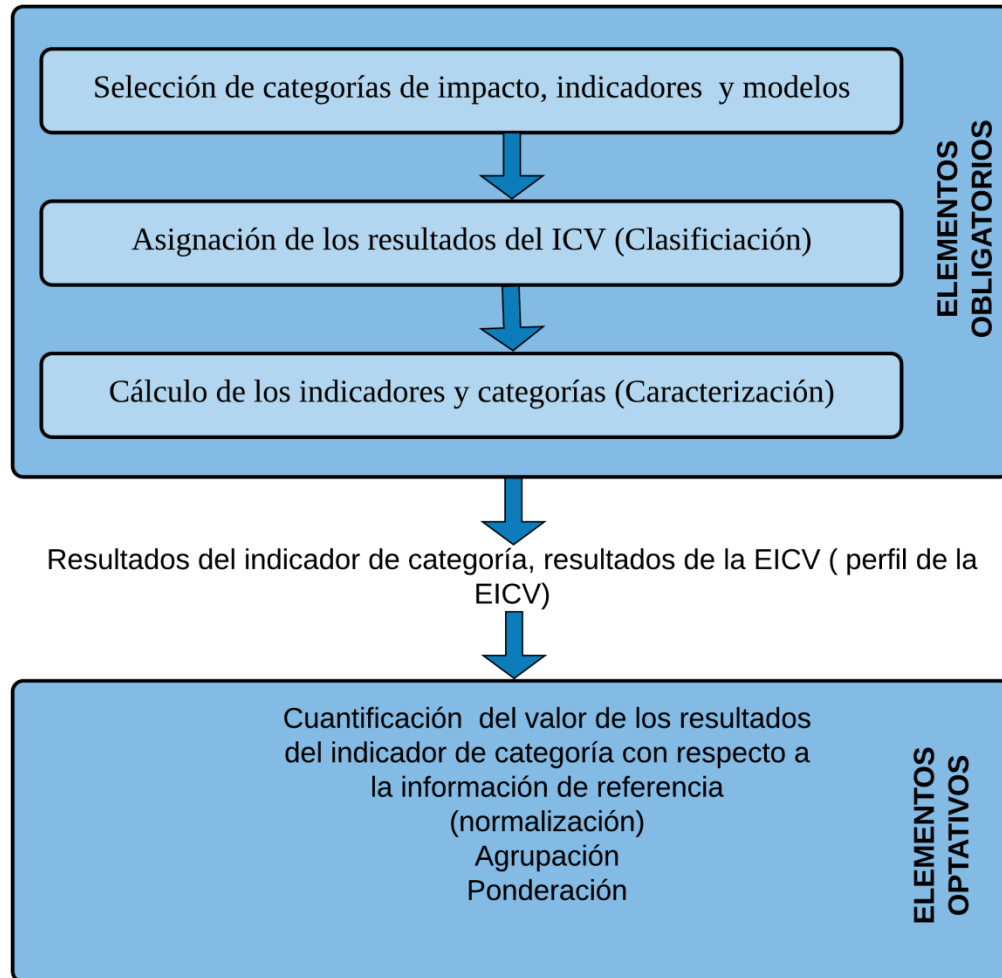
895

896

La evaluación del impacto de ciclo de vida es la tercera fase del ACV. Durante esta fase se proporciona la información adicional que facilita la evaluación de los resultados del ICV del sistema y se utiliza un método de evaluación para convertir esa información en

897 resultados de importancia ambiental. Además, consta de diversos elementos como se
898 muestra en la Figura 2.3 (IHOBE 2009, ISO 2019).

899



900

901

Figura 2.3 Elementos de la EICV

902

Fuente: Modificado a partir de ICONTEC, 2007

903

904

2.2.3.1. Categorías de impacto ambiental

905

Las categorías de impacto ambiental representan los impactos ambientales considerados de
906 interés a los cuales se le asignaran resultados de EICV. A continuación, se muestran en la
907 Tabla 2.1 las principales categorías de impacto ambiental según la SETAC (Sociedad de
908 Toxicología y Química Ambiental).

909

Tabla 2.1 Categorías de impacto ambiental según la SETAC

Categoría de impacto ambiental	Concepto	Unidad de referencia	Factor de caracterización
Calentamiento global	Fenómeno observado en las medidas de la temperatura que muestra en promedio un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre y de los océanos en las últimas décadas.	kg. Eq CO ₂	Potencial de calentamiento global
Consumo de recursos energéticos	Energía consumida en la obtención de las materias primas, fabricación, distribución, uso y fin de vida del elemento analizado.	MJ (Mega Joules)	Cantidad consumida
Reducción de la capa de ozono	Efectos negativos sobre la capacidad de protección frente a las radiaciones ultravioletas solares de la capa de ozono atmosférica.	kg. Eq. CFC-11	Potencial de Agotamiento de la Capa de Ozono (PAO)
Eutrofización	Crecimiento excesivo de la población de algas originado por el enriquecimiento artificial de las aguas de ríos y embalses como consecuencia del empleo masivo de fertilizantes y detergentes que provoca un alto consumo del oxígeno del agua.	kg. Eq. De NO ₃	Potencial de Eutrofización (PE)
Acidificación	Pérdida de la capacidad neutralizante del suelo y del agua, como consecuencia del retorno a la superficie de la tierra, en forma de ácidos, de los óxidos de azufre y nitrógeno descargados a la atmósfera.	kg. Eq SO ₂	Potencial de Acidificación (PA)
Consumo de materias primas	Consumo de materiales extraídos de la naturaleza	Tm (toneladas métricas)	Cantidad consumida
Formación de oxidantes fotoquímicos	Formación de los precursores que dan lugar a la contaminación fotoquímica. La luz solar incide sobre dichos precursores, provocando la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos (el ozono -O ₃ es el más importante por su abundancia y toxicidad)	kg. Eq. C ₂ H ₄	Potencial de Formación de oxidantes fotoquímicos (PFOF)

911

912 Fuente: Modificado a partir IHOBE, 2009

913 2.2.3.2. Factores de caracterización

914
 915 Posterior a la asignación de cada sustancia del ICV dentro de las categorías de impacto
 916 ambiental, se hace una comparación de su valor con respecto a la sustancia de referencia de
 917 la categoría implicada. Es a través de los factores de caracterización de cada sustancia que
 918 esto se realiza, y donde se representa la contribución por sustancia en una determinada
 919 categoría de impacto ambiental respecto a la sustancia de referencia en determinada
 920 categoría, donde cada sustancia es multiplicada por su respectivo factor de caracterización, a
 921 tal manera que se obtienen valores con unidades equivalentes y los cuales pueden ser
 922 sumados para determinar la contribución total de esas sustancias a la categoría (IHOBE,
 923 2009).

924

925
$$\text{Indicador de categoría de impacto}_i = \sum_j (E_j \text{ ó } R_j) (FC_{i,j}) \quad \text{Ecuación 1}$$

926

927 Dónde:

928 Indicador de categoría de impacto i = valor de indicador relacionado a la unidad funcional para
 929 la categoría de impacto;

930 E_j o R_j = Emisión j o consumo de Recurso j por unidad funcional;

931 $FC_{i,j}$ = Factor de Caracterización para la emisión j o Recurso j contribuyente a la categoría de
 932 impacto i .

933 Para entender de una mejor manera el uso de factores de caracterización y de cómo estos se
 934 usan para obtener unidades equivalentes. En la Tabla 2.2 se ejemplifica en equivalentes de
 935 CO₂ diversas sustancias para la categoría de calentamiento global.

936 Tabla 2.2 Factores de caracterización para la categoría de Calentamiento Global

Sustancia		Factor de caracterización Kg eq. CO ₂	
		IPCC 2013	Ecoindicador 95
Dióxido de carbono	CO ₂	1	1
Metano	CH ₄	28	11
Óxido nitroso	N ₂ O	265	270
Hidrofluorocarbonos	CFCs	124-14,800	100-13,000
Hexafluoruro de azufre	SF ₆	23,500	

937

938 Fuente: Modificado de IHOBE 2009, Gillenwater 2010

939 A modo de ejemplo, si en un sistema que emite 1 kg de CO₂, 0.1 kg de CH₄ y 0.8 kg de N₂O
940 hacemos uso de la caracterización, aunque sólo se está emitiendo 1 kg de CO₂, los factores
941 de caracterización (IPCC 2013) convierten las emisiones totales para la categoría de
942 Calentamiento Global en un valor total de 215.8 kg eq. de CO₂. Es la razón por la cual se
943 utiliza el término “equivalente” para hablar de esa cantidad de emisión.

944

945

946 2.2.3.3. Normalización, agrupación y ponderación

947 Además de los elementos obligatorios dentro de la EICV también existen elementos optativos
948 que pueden realizarse dependiendo del objetivo y alcance fijado. Los cuales son los
949 siguientes:

950 **Normalización:** Conversión en unidades globales neutras los resultados de la
951 caracterización, dividiendo cada uno entre un factor de normalización. Es mediante estos
952 factores que se representa la contribución a cada categoría de impacto.

953 **Agrupación:** Selección de las categorías de impacto en grupos con efectos similares.

954 **Ponderación:** Conversión de los valores caracterizados en una unidad común y
955 multiplicados por un factor de ponderación, cuyos resultados son sumados para obtener una
956 puntuación única total del impacto ambiental del producto o sistema (IHOBE, 2009).

957 Y es mediante estos factores que nuestras emisiones del sistema se pueden operar y darnos
958 como resultado la carga ambiental.

959

960 2.2.3.4. Metodologías de evaluación de impactos de ciclo de vida

961 La evaluación de impactos de ciclo de vida puede desarrollarse a partir de distintas
962 metodologías las cuales se describen a continuación en la Tabla 2.3. Durante el análisis de
963 ciclo de vida es frecuente el uso de herramientas que faciliten los cálculos de las metodologías
964 y la obtención de ciertos datos a partir de bases de datos ya establecidas. Para el desarrollo
965 de esta investigación también se usará de apoyo una herramienta, siendo en este caso el
966 software denominado SimaPro, el cual es un programa desarrollado por la empresa holandesa
967 PRé Consultants y permite modelar los productos y sistemas desde una perspectiva de ACV
968 y que viene totalmente integrado con la base de datos Ecoinvent. Además, este software tiene
969 integrado distintas metodologías para evaluación de impactos de ciclo de vida como lo son
970 el CML, EDIP, EPS, IPCC, IMPACT 2002+ y ReCiPe por mencionar algunas. Como se
971 muestra en la Tabla 2.3 cada metodología tiene distintas características con diversas
972 categorías de impacto y la integración de estas distintas metodologías nos permite obtener
973 una mejor adecuación para nuestro modelo.

Tabla 2.3 Metodologías de EICV


METODOLOGÍA	FASES DE EICV					CREADOR	CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL INCLUIDAS	DESCRIPCIÓN
	Clasificación	Caracterización	Normalización	Agrupación	Ponderación			
Ec99						Pré Consultans	<p>Carcinogénicos</p> <p>Respiratorios orgánicos</p> <p>Respiratorios inorgánicos</p> <p>Cambio climático</p> <p>Radiación</p> <p>Destrucción capa ozono</p> <p>Ecotoxicidad</p> <p>Acidificación y eutrofización</p> <p>Uso de suelo</p> <p>Uso de recursos minerales</p>	<p>Sucesor del Eco-Indicator 95. Su desarrollo comenzó con el estudio de asignación de pesos para el Eco-Indicator 95.</p> <p>Se cambió el sistema de evaluación de impactos: En lugar de evaluar cada una de las categorías de impacto, se evaluaron los diferentes daños causados por estas categorías de impacto, agrupandolas en tres niveles de daño:</p> <p>-Daños a la salud humana</p> <p>-Daños a la calidad del ecosistema</p>
RECIPE						Pré Consultans	<p>Destrucción capa ozono</p> <p>Toxicidad humana</p> <p>Radiación</p> <p>Smog fotoquímico</p> <p>Formación particulados</p> <p>Cambio climático</p> <p>Ecotoxicidad al suelo</p> <p>Acidificación al suelo</p> <p>Ocupación suelo rural</p> <p>Ocupación suelo urbano</p> <p>Transformación suelo natural</p> <p>Ecotoxicidad marina</p> <p>Eutrofización marina</p> <p>Eutrofización agua dulce</p> <p>Ecotoxicidad agua dulce</p> <p>Uso de combustibles fósiles</p> <p>Uso de recursos naturales</p> <p>Uso de agua</p>	<p>ReCipe se desarrolló para combinar las ventajas de los métodos CML2001 y Eco-Indicator 99. La ventaja del método CML es su solidez científica, mientras que la ventaja del Eco-Indicator 99 es su facilidad de interpretación.</p> <p>Con ello, se han mejorado los modelos para el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, acidificación, eutrofización, uso del suelo y agotamiento de recursos naturales. A su vez se han actualizado factores de caracterización para algunas categorías de impacto y para el paso de normalización.</p>
CML 2001						Centre of Environmental Science (CML)	<p>Agotamiento de los recursos abióticos</p> <p>Cambio climático</p> <p>Destrucción capa ozono</p> <p>Toxicidad humana</p> <p>Ecotoxicidad</p> <p>Smog fotoquímico</p> <p>Acidificación</p> <p>Eutrofización</p> <p>Uso de recursos</p>	<p>Método basado en el anterior CML 1992.</p> <p>El paso de normalización es opcional para ACVs simplificados, pero obligatorio para ACVs exhaustivos. Dispone de valores de referencia para la normalización de los indicadores de las categorías de impacto: A nivel mundial en 1990, a nivel europeo en 1995 y a nivel holandés en 1997.</p>
IPCC						Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	Cambio climático	<p>Este método, cuya definición comenzó en 1998, recoge los factores de caracterización para el potencial del calentamiento global directo debido a las emisiones al aire.</p>
EDIP/UMIP96						Environmental Design of Industrial Products (EIDP)	<p>Cambio climático</p> <p>Destrucción capa ozono</p> <p>Acidificación</p> <p>Eutrofización</p> <p>Smog fotoquímico</p> <p>Ecotoxicidad acuática</p> <p>Ecotoxicidad del suelo</p> <p>Toxicidad humana</p> <p>Residuos</p> <p>Uso de recursos</p>	<p>Método cuyo desarrollo comenzó en 1996 en Dinamarca. Los factores de normalización están basados en equivalentes- persona en el año 1990.</p> <p>Para la categoría de uso de recursos, la normalización y ponderación están incluidas dentro de la fase de caracterización, ya que esta categoría se evalúa de manera distinta en este método.</p> <p>Los factores de ponderación son definidos como distancia al objetivo por persona para el año 200.</p> <p>Para la categoría de uso de recursos, estos factores están considerados en las fases anteriores, por lo que este paso se considera cero.</p>

METODOLOGÍA	FASES DE EICV					CREADOR	CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL INCLUIDAS	DESCRIPCIÓN
	Clasificación	Caracterización	Normalización	Agrupación	Ponderación			
EPS2000						Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems	Salud humana Capacidad de producción del ecosistema Reserva de recursos abióticos Diversidad biológica Valores culturales	La metodología EPS2000 (Environmental Priority Strategies in product design) es un método orientado al daño causado. En él se tiene en cuenta la voluntad de pagar para restaurar los cambios causados. Por ello la unidad del indicador final es el ELU (Environmental Load Unit). En este método no se aplica el paso de normalización.
ECOPOI NTS97						Swiss Ministry of the Environmental (BUWALL)	Emisiones al aire Vertidos de aguas superficiales Vertidos de aguas subterráneas Vertidos al suelo Uso de recursos Residuos	Desarrollado en 1990, fue uno de los primeros métodos con método de ponderación final. Al igual que Ecoindicadores 95, es un método basado en la "distancia al objetivo", en este caso fijado por la propia política medioambiental suiza. Este método no dispone de paso de clasificación, sino que evalúa los impactos de manera individual. Para el paso de normalización dispone de dos opciones.
TRACI						Environmental Protection Agency (EPA US)	Destrucción capa ozono Cambio climático Smog fotoquímico Acidificación Eutrofización Efectos cancerígenos a la salud humana Efectos no cancerígenos a la salud humana Ecotoxicidad Agotamiento de combustibles fósiles Uso del suelo Uso del agua	Desarrollado en 1995, supone una herramienta informática para la evaluación de las 12 categorías de impacto que construyen el método. Muchos de los mecanismos ambientales que soportan las categorías de impacto están importados de otras metodologías, como Ec99 y CML2001.
IMPACT 2002+						Instituto de tecnología federal Suizo de Lausanne (EPFL)	Toxicidad humana Efectos respiratorios Radiación ionizante Destrucción capa ozono Smog fotoquímico Ecotoxicidad acuática Ecotoxicidad del suelo Acidificación acuática Acidificación del suelo Acidificación y eutrofización del suelo Ocupación del suelo Cambio climático Energías no renovables Uso de recursos	Resulta de una combinación entre las metodologías IMPACT2002, Ec99, CML2001 e IPCC.

977

978

979  Fases de EICV cubiertas

980  Fases de EICV definidas, pero no siempre utilizadas

981  Fases de EICV no cubiertas

982

983 Fuente: Modificado a partir IHOBE, 2009

984

985

986 **2.2.4. Interpretación**

987

988 La interpretación es la fase final del ACV en la cual son discutidos y analizados los
989 resultados del ICV y/o del EICV para la generación de conclusiones, recomendaciones o
990 toma de decisiones correspondientes al objetivo y alcance definidos.

991

992

993

994

995

996

997

998

999

1000

1001

1002

1003

1004

1005

1006

1007

1008

1009

1010

1011

1012 **Capítulo 3 ANALISIS DE CICLO DE VIDA ESTUDIO**
1013 **DE CASO: AEROGENERADOR TIPO VESTAS V27/**
1014 **225**

1015

1016 El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo general determinar el impacto ambiental
1017 potencial ocasionado por el campo de aerogeneradores La venta I en Oaxaca mediante la
1018 aplicación del ACV (Análisis de Ciclo de Vida). A continuación, se presenta el desarrollo
1019 del ACV de acuerdo a la norma ISO14040:2006.

1020

1021 **3.1 FASE 1: DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y ALCANCE**

1022 **3.1.1 Objetivo de la metodología de ACV**

1023 El objetivo fue determinar las contribuciones por impactos ambientales potenciales de cada
1024 etapa del ciclo de vida del campo de aerogeneradores La Venta I en Juchitán de Zaragoza,
1025 Oaxaca, empleando el ACV. El estudio será presentado como proyecto de tesis en la Maestría
1026 en Ciencias de Ingeniería Ambiental, y los estudios serán reportados a la comunidad
1027 científica y tecnológica. No se consideran comparaciones entre sistemas similares.

1028 **3.1.2 Alcance**

1029 El sistema de este estudio implica generar energía eléctrica a partir del viento mediante un
1030 aerogenerador terrestre tipo Vestas V27/ 225. El aerogenerador opera bajo condiciones de
1031 viento de 10 m/s en promedio (Juárez-Hernández, 2014), en un periodo de 20 años (vida útil)
1032 y con un flujo de referencia en 1 MWh / año hacia la red eléctrica nacional.

1033 La unidad funcional consta de los siguientes elementos:

1034 **Producto:** Aerogenerador Vestas V27/225 de 27 m de diámetro del rotor, con
1035 góndola y torre de 30 m de altura.

1036 **Función:** Transformar la energía potencial del viento en energía mecánica
1037 rotacional y a su vez mediante el uso de un generador eléctrico
1038 convertirla en energía eléctrica.

1039 **Unidad funcional:** 1 aerogenerador Vestas V27/225.

1040

1041

1042

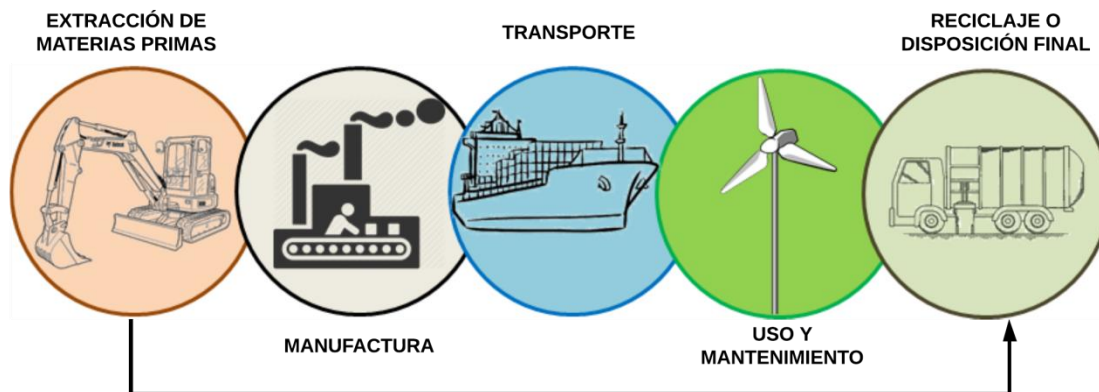
1043 Los límites del sistema fueron:

1044 **Área geográfica:** Se consideran 2 lugares de estudio, Dinamarca para las etapas
1045 de extracción de materia prima y manufactura, y las etapas de
1046 uso y mantenimiento y escenarios de disposición de residuos
1047 pertenecen a México.

1048 **Horizonte de tiempo:** Las etapas de obtención de materia prima, la manufactura y
1049 transporte pertenecen al año 1994, la etapa de uso y
1050 mantenimiento se encuentran en el intervalo de 1994 - 2014 y
1051 la disposición de residuos pertenecen al año 2014.

1052 **Enfoque:** De la cuna a la tumba (Figura 3.1)

1053



1054

1055 Figura 3.1 Enfoque de la cuna a la tumba para el ACV de un aerogenerador Vestas V27/225

1056

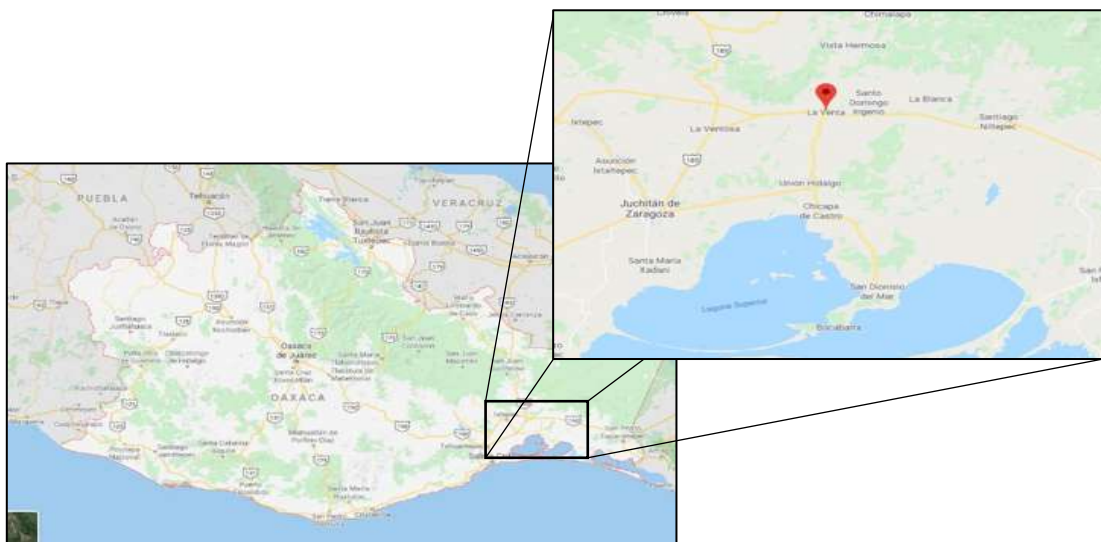
1057

1058 3.1.2.1 Descripción del área de estudio

1059 México se encuentra entre los países con zonas ideales para la explotación eólica a gran
1060 escala. En el año de 1980 se hicieron los primeros estudios para evaluar las características y
1061 la distribución de los vientos en el territorio de México. La región del sur del istmo de
1062 Tehuantepec, Oaxaca, ha sobresalido con vientos de velocidad media anual superior a los 10
1063 m/s, cuando en el promedio mundial en la generación de energía son aprovechados vientos

1064 de 6.5 m/s. El istmo de Tehuantepec, además de tener vientos relativamente estables, cuenta
1065 con características topográficas favorables para la instalación de campos de aerogeneradores.

1066 El campo de aerogeneradores estudiado se encuentra en la localidad de La Venta, municipio
1067 de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca (Figura 3.2) y la estación de CFE a cargo de este campo
1068 lleva por nombre “La Venta I”. Este campo de aerogeneradores fue el primero instalado en
1069 México, en noviembre de 1994 como proyecto piloto para la generación de energía eléctrica
1070 a partir de fuentes eólicas, su operación depende del gobierno federal a cargo de CFE. El
1071 campo de aerogeneradores cuenta con 7 aerogeneradores daneses V27/225 de la marca
1072 Vestas, con torre de 30 m de altura y rotor de 27 m de diámetro. En la Figura 3.3 se muestra
1073 los tres aerogeneradores que aún continúan operando en La Venta I al año 2020.



1074
1075 **Figura 3.2** Localidad de La Venta en el municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca
1076 **Fuente:** Google Maps (2020)



1077

1078

Figura 3.3 Imagen satelital del campo de aerogeneradores La Venta I

1079

Fuente: Google Earth (2020)

1080

3.2 FASE 2: DESARROLLO DEL INVENTARIO DE CICLO DE VIDA (ICV)

1081

A fin de lograr una transparencia y coherencia del inventario de ciclo de vida del aerogenerador estudiado, se presenta una breve explicación del funcionamiento y los principales componentes del aerogenerador.

1082

1083

1084

3.2.1 Generalidades del funcionamiento de un aerogenerador Vestas V27/225

1085

3.2.1.1 Funcionamiento y componentes de un aerogenerador Vestas V27/225

1086

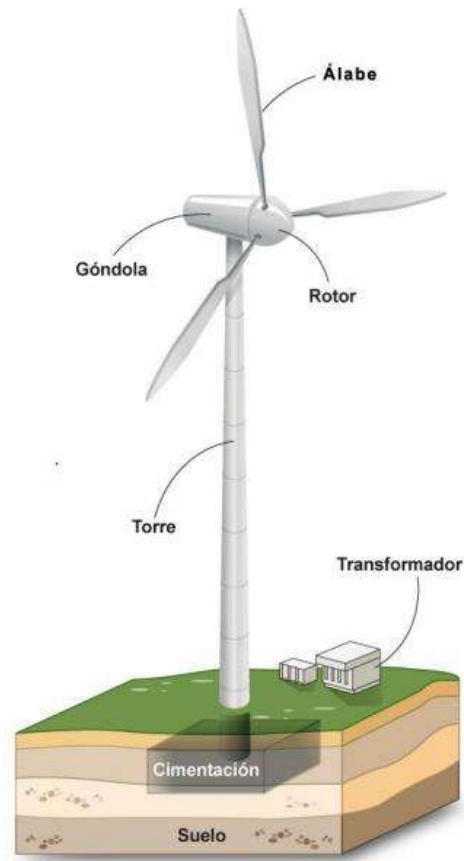
Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica. El aerogenerador puede dividirse en tres elementos principales: la torre, la góndola y el rotor, todo sobre una cimentación de concreto y acero de refuerzo oculta debajo del suelo (Figura 3.4). El componente visual principal del rotor son las hélices, estas también reciben el nombre de álabes, palas o cuchillas.

1087

1088

1089

1090



1091

1092

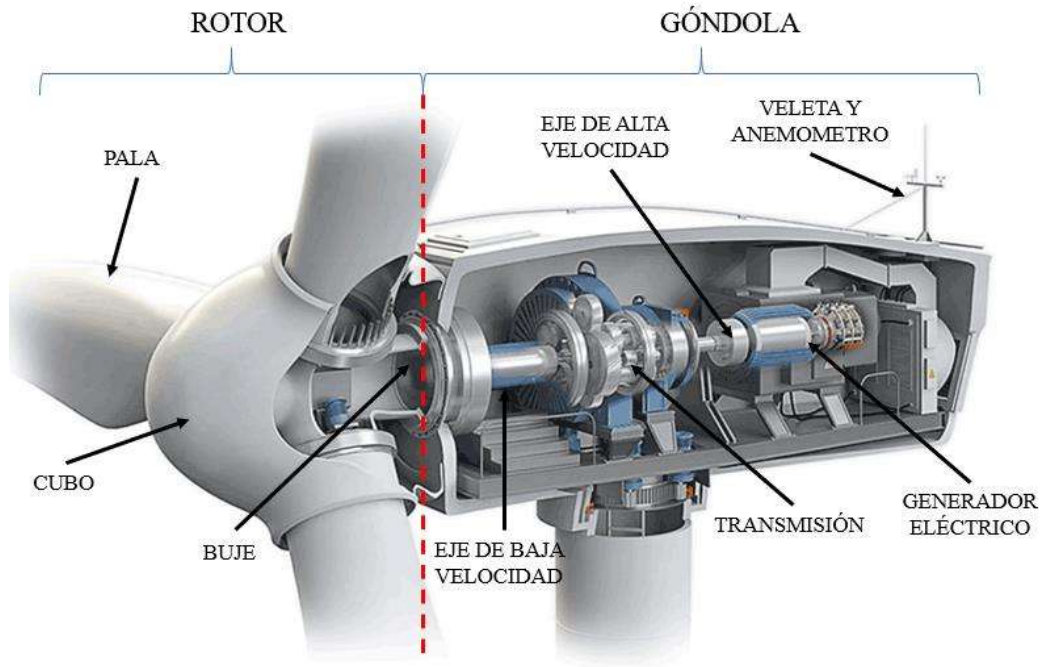
Figura 3.4 Elementos principales de un aerogenerador

1093

La góndola es una estructura de perfiles de acero cubierta por una carcasa de fibra de vidrio reforzada con resina de poliéster. En la Figura 3.5 se muestran los principales componentes dentro de la góndola. La energía cinética del viento es transformada en energía mecánica rotacional por la acción de los álabes localizados en el rotor, construidos en su mayoría de fibra de vidrio reforzada con resina de poliéster. Esta energía mecánica rotacional es dirigida por medio del eje de baja velocidad de acero, que está conectado a una transmisión, la cual tiene como función incrementar las revoluciones entregadas por el rotor para entregarlas al generador eléctrico. Dicha transmisión está compuesta de un conjunto de engranajes, ejes y rodamientos de acero los cuales se encuentran lubricados por medio de 72 L de aceite dentro de una carcasa de fundición de hierro (Figura 3.6) (Vestas 1993).

1103

1104



1105
1106
1107
1108
1109
1110

Figura 3.5 Principales componentes dentro de la góndola
Fuente: Modificado de World Energy Trade (2019)

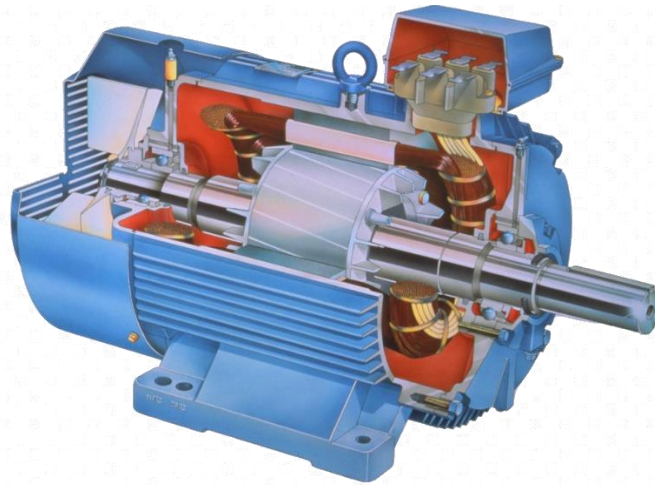


1111
1112
1113

Figura 3.6 Transmisión de un aerogenerador y aceite usado para su lubricación

1114 Por efecto de los campos magnéticos sobre un material conductor (generalmente cobre),
1115 el generador eléctrico entrega un voltaje a su salida, el cual es dirigido por el cableado
1116 principal (fabricado de cobre con recubrimiento aislante) a los transformadores, que
1117 elevan la tensión para su correcta distribución en la red eléctrica. El generador está

1118 compuesto de un eje y rodamientos de acero lubricados por grasa, instalados en una
1119 carcasa de fundición de hierro (Figura 3.7).

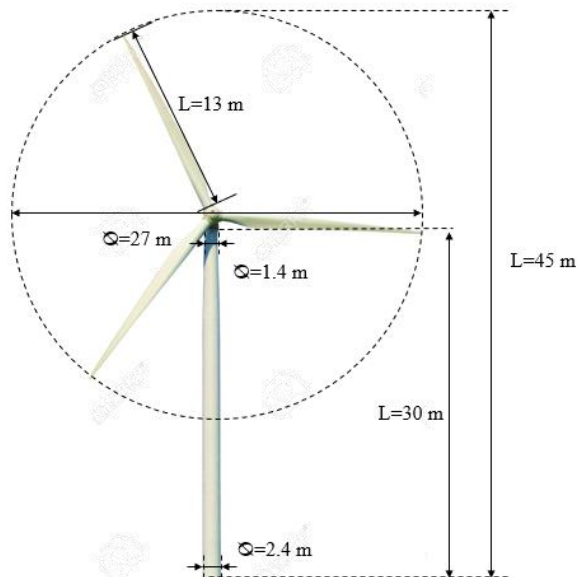


1120

1121 Figura 3.7 Generador eléctrico de un aerogenerador

1122 Algunas de las dimensiones del aerogenerador Vestas V27/225 se muestran en la

1123 Figura 3.8 y en la Figura 3.9 se hace referencia de su dimensión comparándolo con la estatua
1124 de la libertad de EUA y el monumento a José Ma. Morelos y Pavón de la isla de Janitzio,
1125 Michoacán.

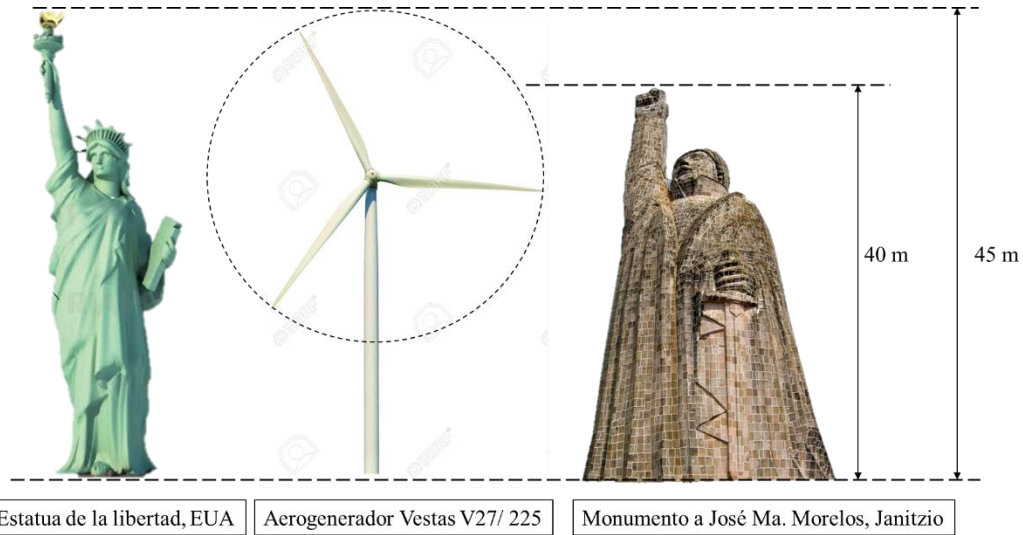


1126

1127

1128

Figura 3.8 Principales dimensiones del aerogenerador Vestas V27/225



1129

1130

1131

1132 3.2.1.2 Generación de energía eléctrica

1133 El aerogenerador Vestas V27/225 desarrolla una potencia nominal de 225 kWh tal como se
 1134 indica en el nombre del modelo. Este aerogenerador desarrolla su máxima potencia a partir
 1135 de una velocidad de viento de 14 m/s y con una densidad del aire de 1.225 kg/m³ como se
 1136 muestra en la Tabla 3.1 y en la Figura 3.10.

1137

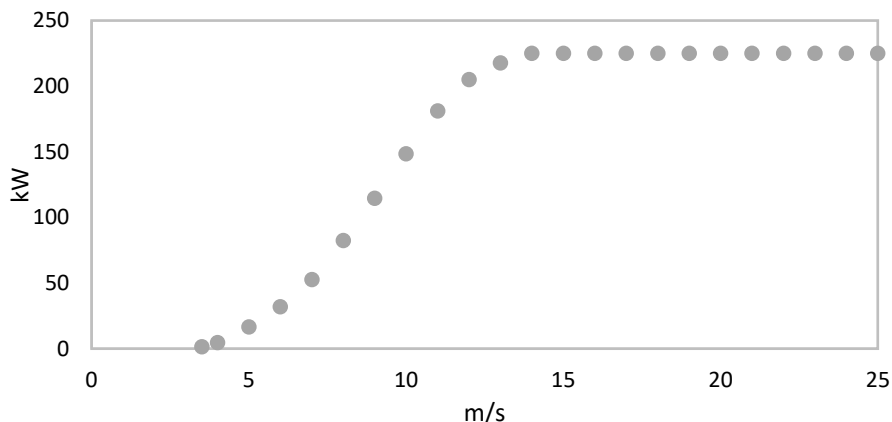
Tabla 3.1 Potencias desarrolladas

Velocidad del viento (m/s)	Salida (kW)
3.5	1.5
4	4.5
5	16.6
6	31.8
7	52.5
8	82.4
9	114.5
10	148.3
11	181
12	205
13	217.6
14	225
15-25	225

1138

Fuente: Elaboración propia basado en Vestas (1994)

1139



1140

1141

1142

Figura 3.10 Curva de potencia
 Fuente: Elaboración propia basado en Vestas (1994)

1143

1144

1145 3.2.1.3 Mantenimiento y desmantelamiento de un aerogenerador Vestas V27/225

1146 Los aerogeneradores Vestas V27/225, como todo equipo electro-mecánico requieren de
 1147 mantenimiento para su correcto funcionamiento y desempeño. El mantenimiento para los
 1148 equipos se divide en dos tipos principales: el mantenimiento preventivo y el mantenimiento
 1149 correctivo. Para el mantenimiento preventivo se consideró la Tabla 3.2 de puntos de
 1150 lubricación que recomienda el fabricante en su manual eléctrico de operación y
 1151 mantenimiento, en la cual se indica los puntos a lubricar con grasa o aceite de acuerdo a la
 1152 Figura 3.11.

1153

1154

Tabla 3.2 Puntos de lubricación para un aerogenerador Vestas V27/225

Posición	Punto de lubricación	Lubricante	Cantidad		Cantidad/año	Total/20 años	Total de lubricante	
			g	L			kg	L
3	Rodamiento de pala, Rollix	Grasa Vestas 7 (149046)	720		2	40	28.8	
4	Cojinete de biela	SKF LGWM1 (149139)	5		2	40	0.2	
5.1	Cojinete trasero y delantero del travesaño	SKF LGWM1 (149139)	25		2	40	1	
5.2	Rodamiento de eje de transporte	SKF LGWM1 (149139)	45		2	40	1.8	

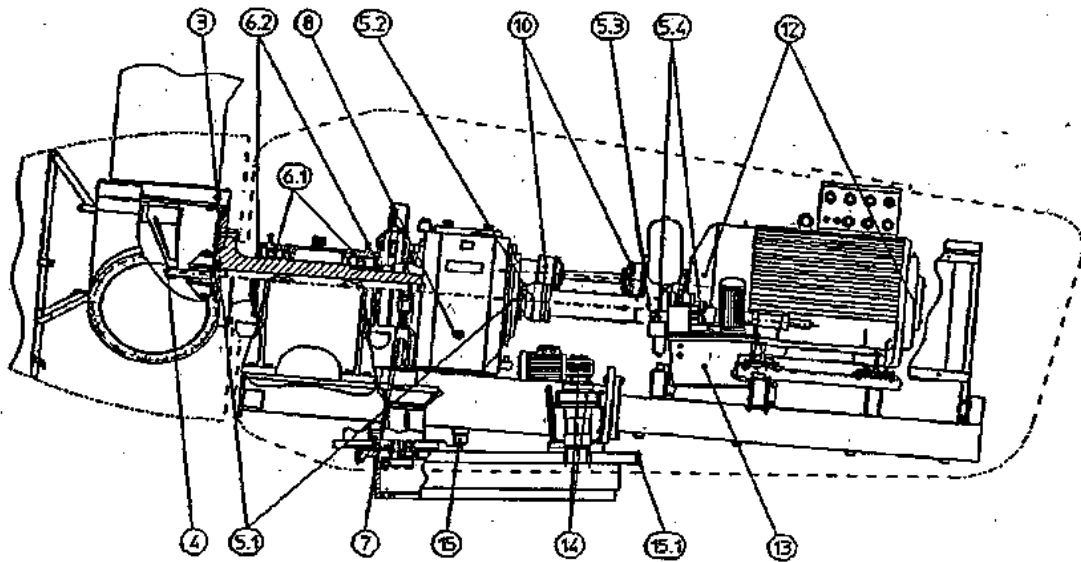
5.3	Rodamiento del Pitch	SKF LGWM1 (149139)	25		2	40	1	
5.4	Cojinetes lisos, Rodamiento del pitch, soporte - cilindro	SKF LGWM1 (149139)	5		2	40	0.2	
6.1	Rodamiento principal enfrente y atrás	SKF LGWM1 (149139)	200		2	40	8	
		SKF LGWM1 (149139)	200		2	40	8	
7	Cojinetes planos en montaje de engranes	SKF LGWM1 (149139)	40		2	40	1.6	
8	Transmisión Hansen	Texaco Meropa 320 (149092)		72		1	0	72
10	Eje de transmisión	Optitemp PU035 (1490077)	250		2	40	10	
12	Generador Siemens	Texaco Hytex EP2 (149130)	40		2	40	1.6	
13	Unidad Hidráulica	Texaco Rando HDZ 32 (149115)		27		1	0	27
14	Engranes de manejo Yaw	Shell Tivela Compound A				1	0	
15	Rodamientos sistema Yaw	Optimol Optipit (149064)	120		2	40	4.8	
15.1	Engranajes Yaw	Optimol Optipit (149064)	5		2	40	0.2	
TOTAL							67.2	99

1155

Fuente: Modificado de Vestas (1993)

1156

1157



1158

1159

1160 Figura 3.11 Puntos de lubricación para un aerogenerador Vestas V27/225

1161 Fuente: Extraído de Vestas (1993)

1162 Para la obtención de los datos del mantenimiento correctivo se consultó la bitácora de
 1163 mantenimiento por aerogenerador por medio de la Plataforma Nacional de Transparencia
 1164 (PNT) de la estación de CFE La Venta I (Anexo I folio 1816400307219), donde se
 1165 encuentran solo los mantenimientos del periodo 2007-2014 (Tabla 3.3).

1166 Tabla 3.3 Materiales utilizados en el mantenimiento correctivo de los aerogeneradores en La Venta I

Material	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	Total	Unidad
	Cantidad								
Abrazadera sin fin	0	0	0	1	0	0	0	1	Pza.
Aceite Hidráulico	38	15	21	3	19	0	0	96	L
Aceite para caja de engranes(transmisión)	10	8	0	5	0	0	0	23	L
Acoplamiento homocinético	0	1	0	0	0	0	0	1	Pza.
Adaptador de tierra	0	0	0	0	0	0	1	1	Pza.
Aflojatodo	0	0	0	0	1	0	0	1	Pza.
Amortiguador	0	0	0	0	1	0	0	1	Pza.
Anemómetro	1	0	0	0	0	0	0	1	Pza.
Base de tarjeta Vickers	0	1	1	0	0	0	0	2	Pza.
Baterías	0	0	6	0	6	0	0	12	Pza.
Bolsa p/ basura	8	16	16	13	11	0	6	70	Pza.

Broca	0	1	0	0	0	0	0	1	Pza.
Brochas	2	0	0	0	0	0	0	2	Pza.
Bulón	0	0	0	0	2	0	0	2	Pza.
Cámara del arqueo 601 k501	0	0	0	3	0	0	0	3	Pza.
Capacitor	0	0	6	3	12	0	0	21	Pza.
Cinchos de plástico	10	1	0	20	70	0	0	101	Pza.
Cinta de aislar	0	0	0	0	0	0	1	1	Pza.
Cinta vulcanizable	0	0	0	0	0	0	1	1	Pza.
Clavija p/ solenoide	1	0	0	0	0	0	0	1	Pza.
Conector inserto doble	0	0	0	0	0	0	3	3	Pza.
Conexiones tipo codo	0	0	0	0	0	0	6	6	Pza.
Cono de plástico	2	0	6	1	3	0	1	13	Pza.
Contacto	0	0	2	13	0	0	0	15	Pza.
Contactador	1	6	2	2	2	0	2	15	Pza.
Contactos fijos y móviles	0	4	0	0	0	0	0	4	Pza.
Desarmador	0	1	0	0	0	0	0	1	Pza.
Diodo	9	1	2	0	0	0	0	12	Pza.
Filtro de aceite	1	1	1	0	0	0	0	3	Pza.
Flecha	0	0	0	3	0	0	0	3	Pza.
Franela	2	0	0	0	0	0	0	2	Pza.
Fusible	36	12	1	8	5	0	0	62	Pza.
Gomas Amortiguamiento	0	0	8	0	0	0	0	8	Pza.
Grasa	3.48	5.38	3.58	3.65	2.4	0	0	18.485	Kg
Graseras	0	0	0	0	2	0	0	2	Pza.
Guantes de látex	14	0	16	18	0	0	6	54	Pza.
Guantes nitrilo	0	0	16	0	0	0	0	16	Pza.
Interruptor de presión de freno 5202	1	0	0	0	0	0	0	1	Pza.
Junta p/ tapa de la multiplicadora	0	0	0	1	0	0	0	1	Pza.
Liga	0	0	0	1	0	0	0	1	Pza.
Lija	3	0	2	2	2	0	1	10	Pza.
Modulo control VOG	0	0	0	0	1	0	0	1	Pza.
Módulo de comunicación	2	0	0	1	0	0	0	3	Pza.
Nitrógeno	0	0	15	0	0	0	0	15	Bar
Papel industrial	15.75	16.75	16.25	26	8	0	10	92.75	Rollo
Pinza	0	1	0	0	0	0	0	1	Pza.
Porta fusible	0	2	0	2	1	0	0	5	Pza.
Protección de sobre corriente	0	1	0	0	0	0	0	1	Pza.
Relevador	0	2	0	0	0	0	0	2	Pza.

Relevador auxiliar RSY2-U	2	0	1	0	0	0	0	3	Pza.
Resistencias	0	0	6	0	0	0	3	9	Pza.
Rondanas	0	6	0	0	4	0	0	10	Pza.
Rotula	0	0	0	2	2	0	0	4	Pza.
Sensor	2	0	0	2	0	0	0	4	Pza.
Sensor balluff	0	2	1	0	0	0	0	3	Pza.
Tubo de Silicon	0	0	0	1	0	0	0	1	Pza.
Solvente	5.45	11.75	4	11.75	4	0	2.5	39.45	L
Stick de tarjeta vickers	1	0	0	1	0	0	0	2	Pza.
Tablilla	0	0	0	0	1	0	0	1	Pza.
Tacones de suspensión	0	0	0	4	0	0	0	4	Pza.
Tarjeta	0	2	11	0	3	0	0	16	Pza.
Tarjeta CT	7	0	0	0	0	0	0	7	Pza.
Tarjeta Vickers	0	0	0	3	0	0	0	3	Pza.
Tarjeta VOG	1	0	0	0	0	0	0	1	Pza.
TC's RB10 2RO F 0497	0	0	0	0	3	0	0	3	Pza.
Termistor	1	0	0	0	0	0	0	1	Pza.
Termomagnético	0	0	1	0	0	0	0	1	Pza.
Tiristor	0	0	1	0	0	0	0	1	Pza.
Tornillo	0	4	6	2	2	0	0	14	Pza.
Transformador de corriente TC	0	0	0	0	0	0	1	1	Pza.
Tubos de grasa	0	0	0	2	0	0	0	2	Pza.
Tuerca	0	0	1	0	4	0	0	5	Pza.
Veleta	1	0	0	1	0	0	0	2	Pza.
Ventilador p/ tarjeta Vickers	0	0	1	1	0	0	0	2	Pza.

1167 * V1, V2...V7= Aerogenerador 1, Aerogenerador 2... Aerogenerador 7

1168 Actualmente (2020), solo continúan en operación tres de los siete aerogeneradores instalados
1169 en el campo La Venta I. Los aerogeneradores que concluyeron operación no fueron
1170 desmantelados por fin de vida útil u obsolescencia, sino debido a siniestros que concluyeron
1171 su funcionamiento. Para la obtención de datos se consultó la información mediante el Portal
1172 de Transparencia (Anexo I folio 1816400307219), donde se acceso a la información de que
1173 el proceso de desmantelamiento por aerogenerador tuvo una duración aproximada de tres
1174 días y cuyo costo por aerogenerador fue de \$1,100,000. De acuerdo a CFE se necesitaron
1175 para el proceso de desmantelamiento los elementos de la Tabla 3.4.

1176

1177 Tabla 3.4 Elementos utilizados para el desmantelamiento de un aerogenerador Vestas V27/225

Listado de elementos para el proceso de desmantelamiento

Grúa con pluma telescópica de 50 m y 20T

Grúa Hiab

Planta de luz

Eslingas

Estrobos

Grilletes

Cadenas

Herramienta manual

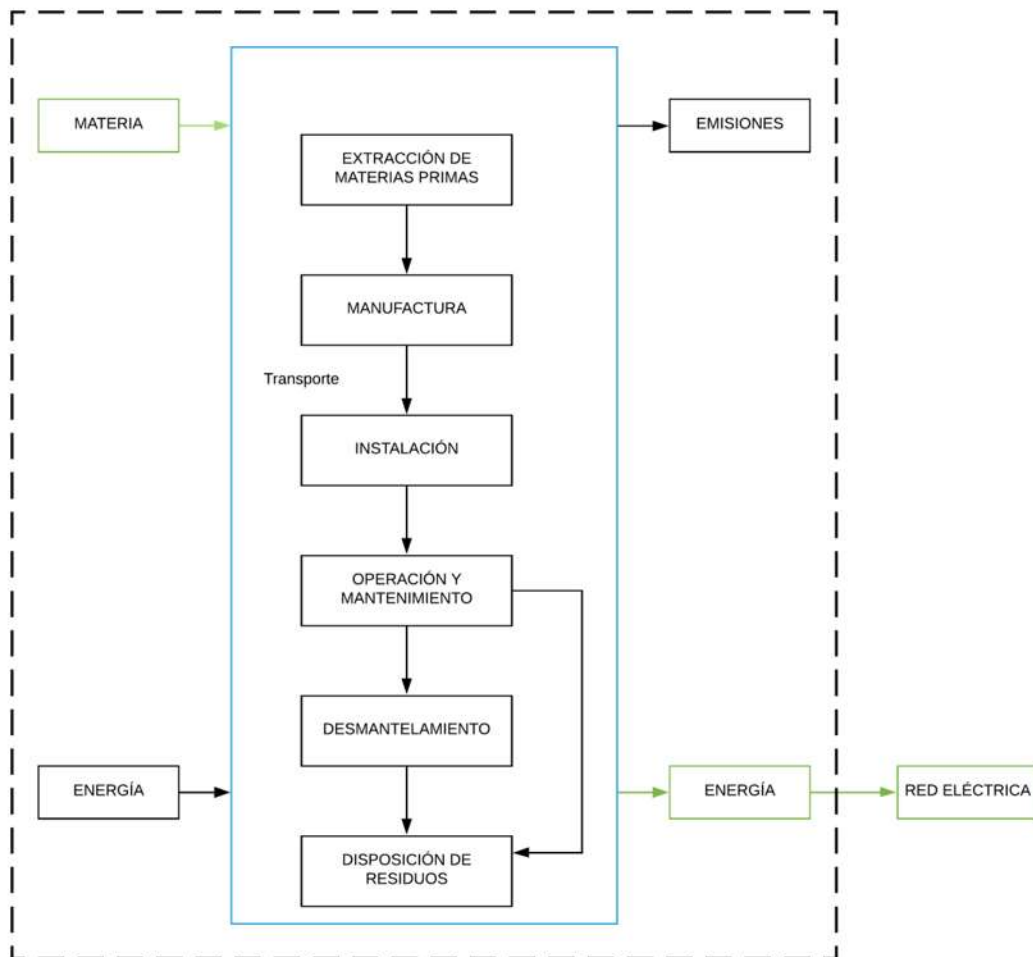
Herramienta hidráulica

1178

1179 **3.2.2 Límites del sistema**

1180 El sistema estudiado tuvo un enfoque “de la cuna a la tumba”, es decir, desde la etapa de
1181 extracción y obtención de la materia prima hasta la etapa de escenario de residuos. Para la
1182 etapa de transporte solo se consideró el transporte del sitio de manufactura a lugar de
1183 instalación. Asimismo, el sistema se limita al campo de aerogeneradores sin llegar al
1184 suministro de la red eléctrica. El criterio de corte de acuerdo a la norma ISO 14049:2006 es
1185 de 5% siendo estos materiales no tóxicos. Es decir, para el ICV se puede despreciar aquellos
1186 materiales que representen menos del 5% del peso total del producto a ser evaluado, siempre
1187 y cuando estos materiales no sean de clasificación tóxica. Sin embargo, todos los materiales
1188 cuyos datos se encuentren disponibles se colocan en el inventario.

1189 En el inventario de ciclo de vida para el aerogenerador, los límites del sistema se representan
1190 en la Figura 3.12 .



1191

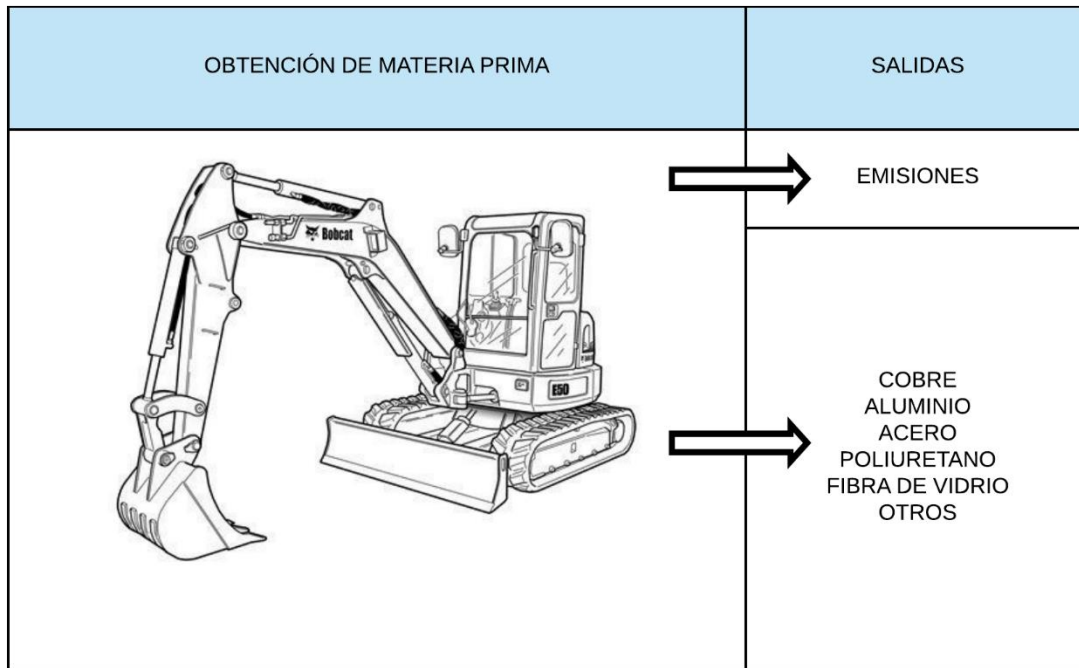
1192 Figura 3.12 Esquema general del sistema para el ACV del aerogenerador Vestas V27/225

1193

1194 **3.2.3 ICV: Etapa de obtención de materia prima para un aerogenerador Vestas**
 1195 **V27/225**

1196 Para la materia prima se consideró que el lugar de extracción es el mismo que el lugar de
 1197 manufactura (Dinamarca), debido a que el proyecto data antes del año 1994. El aerogenerador
 1198 está constituido principalmente por acero, cobre, fibra de vidrio, fundición de hierro y
 1199 poliuretano (Ver sección 3.2.1.1). Durante la fase de obtención de la materia prima se
 1200 encontraron como principales salidas las mostradas en la Figura 3.13.

1201



1202

1203

Figura 3.13 Entradas y salidas en la etapa de obtención de materia prima

1204

De acuerdo al Manual eléctrico de operación y mantenimiento para el aerogenerador Vestas V27/225 (Vestas 1993), se obtuvo la descripción de las partes y pesos por cada aerogenerador como se muestra en la Tabla 3.5. Asimismo, para la generación del ICV se identificaron los elementos de la base de datos Ecoinvent 3 en el software SimaPro como se muestra en la

1205

1206

1207

1208

1209

1210

Tabla 3.5 Principales cantidades de materias primas utilizadas en un aerogenerador

Material	Góndola	Rotor	Torre	Total (kg)
	Cantidad (kg)			
Acero	6,192.5	647.0	12,045.0	18,884.5
Cobre	400.0	0.0	125.0	525.0
Fibra de Vidrio	300.0	1,880.0	0.0	2,180.0
Fundición de hierro	1,027.0	450.0	0.0	1,477.0
Poliuretano	0.5	3.0	0.0	3.5
Total (kg)	7,920.0	2,980.0	12,170.0	23,070.0
Porcentaje (%)	34.3	12.9	52.7	100

1211

1212

1213

1214

1215

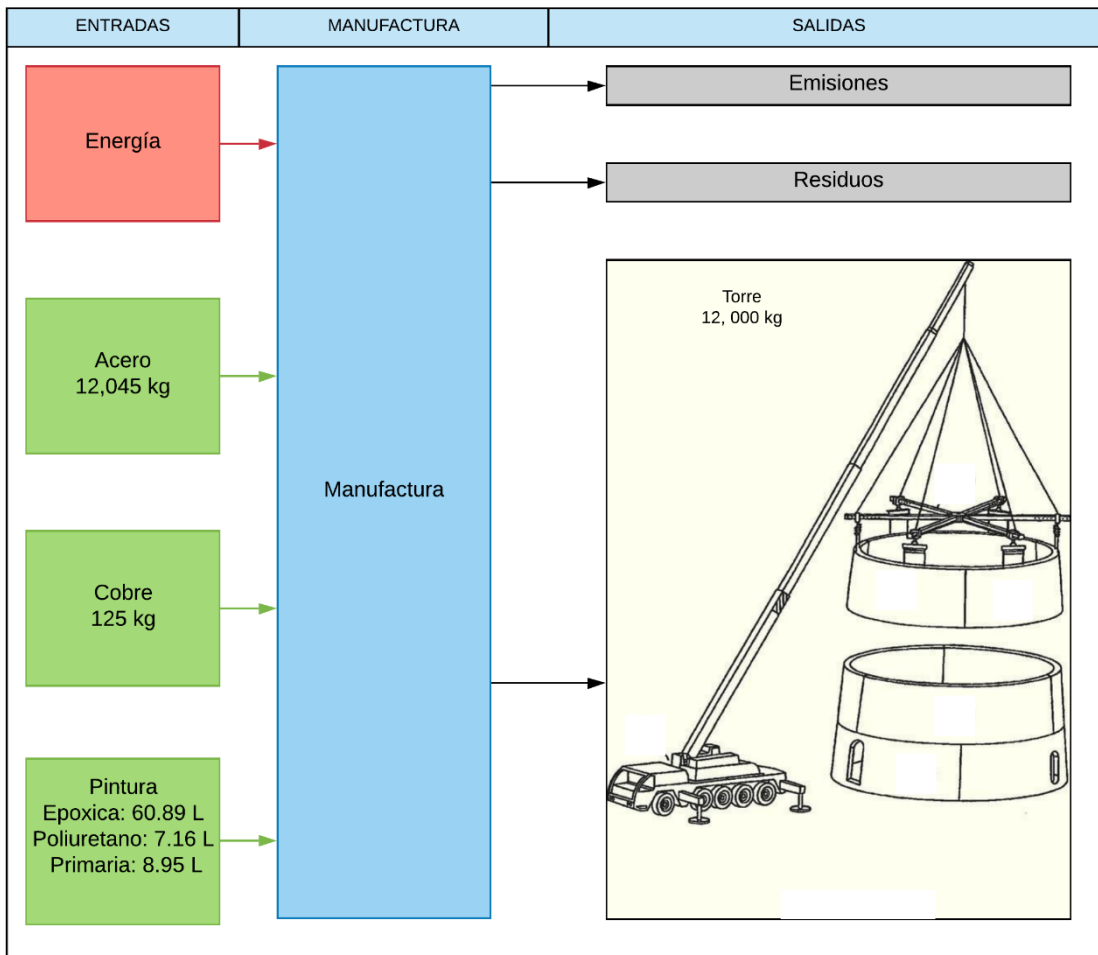
Tabla 3.6 Inventario de ciclo de vida. Etapa de obtención de materias primas

ENTRADAS		
Material	Elemento usado	Cantidad (kg)
Cobre	Copper {GLO} market for Alloc Def, U	525.0
Fundición de hierro	Cast iron {GLO} market for Alloc Def, U	1,477.0
Acero	Steel, low-alloyed {GLO} market for Alloc Def, U	18,884.5
Fibra de Vidrio	Glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay -up {GLO} market for Alloc Def, U	2,180.0
Poliuretano	Polyurethane, flexible foam {GLO} market for Alloc Def, U	3.0

1216

1217 **3.2.4 ICV: Etapa de manufactura para un aerogenerador Vestas V27/225**

1218 En esta etapa de manufactura se consideró que ocurrió en Dinamarca anterior al año 1994.
1219 Una vez obtenido el inventario de las materias primas en la etapa anterior, se levantó también
1220 un inventario para la etapa de manufactura. En esta etapa se consideraron los tres
1221 componentes principales que conforman un aerogenerador, la torre (Figura 3.14), la góndola
1222 (Figura 3.15) y el rotor con palas (Figura 3.16), cada uno con su respectiva conformación de
1223 componentes y materiales. En la Tabla 3.5 se muestra la distribución porcentual de peso de
1224 los componentes principales de un peso total de aproximado de 23 toneladas.



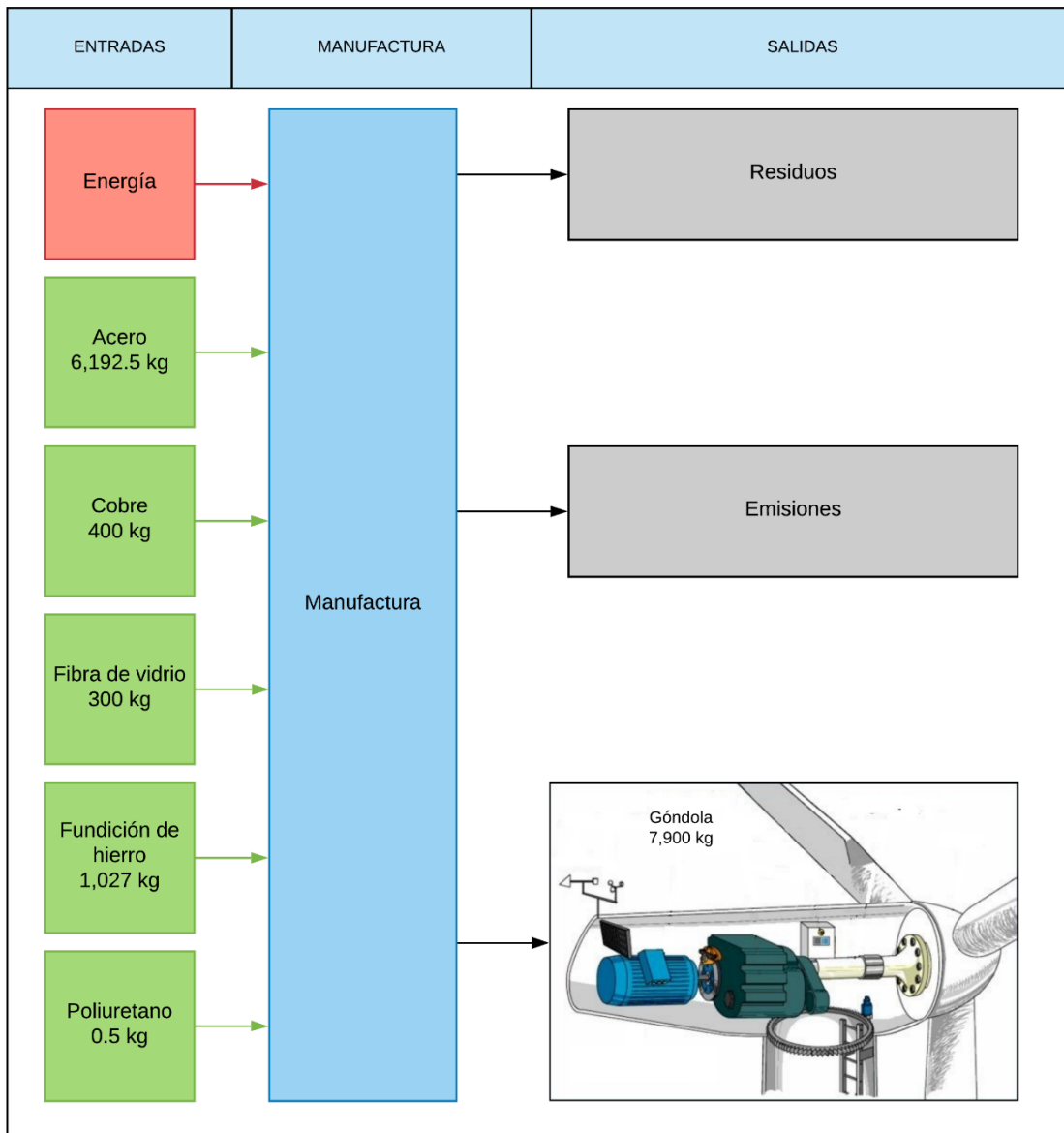
1225

1226

1227

Figura 3.14 Materiales en la etapa de manufactura de la torre

1228

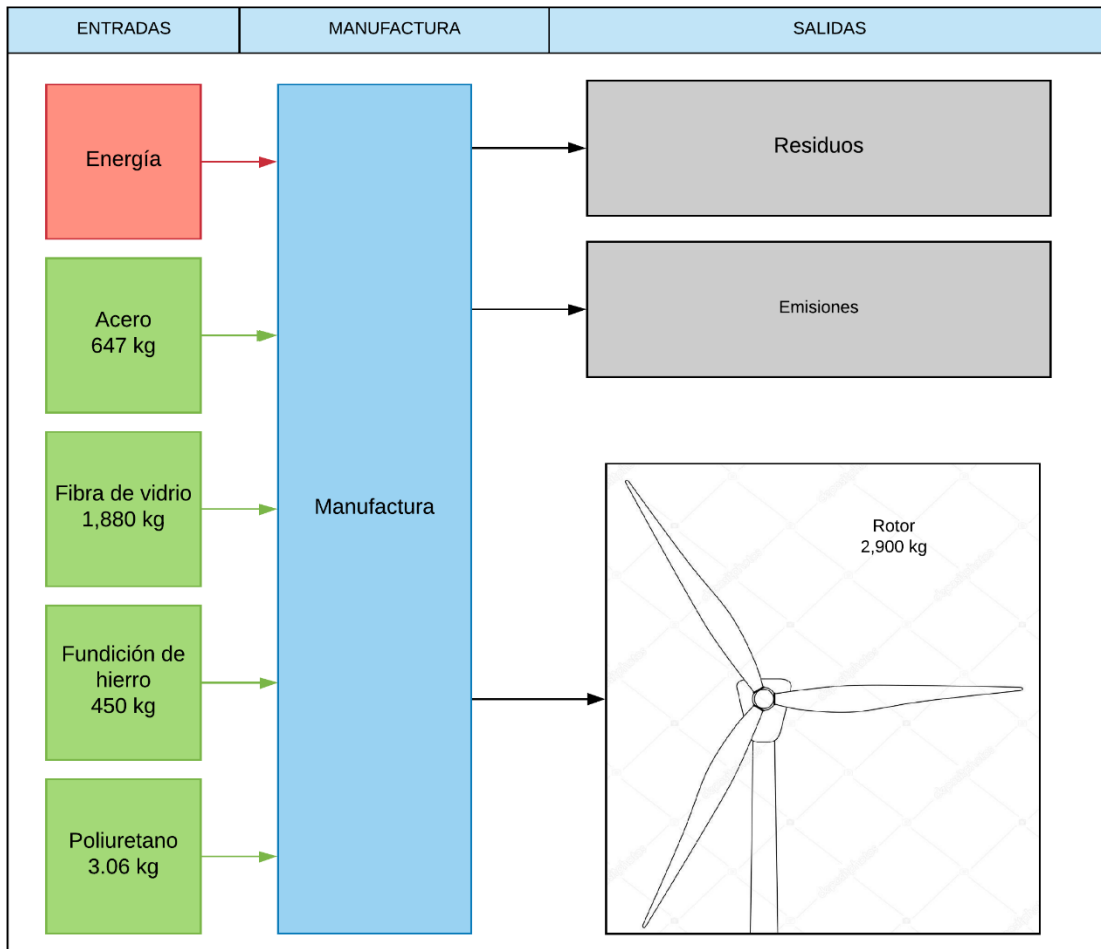


1229

1230

1231

Figura 3.15 Materiales en la etapa de manufactura de la góndola



1232

1233

Figura 3.16 Materiales en la etapa de manufactura del rotor (con palas)

1234

1235

La información respecto a la manufactura del Vestas V27/225 no se encuentra disponible en español. Sin embargo, esta se estimó tomando como referencia el proyecto de Elsam Engineering A/S y Vestas Wind Systems (2004) acerca del análisis de ciclo de vida de un aerogenerador Vestas V80 de 2 MW. Para este estudio se tomó como referencia la energía usada por kg (kWh/kg) de aerogenerador referente al Vestas V80 y se usó dicho dato para calcular la energía total utilizada para el proceso de manufactura del Vestas V27/225. En la Tabla 3.7 se muestra la energía utilizada para el proceso de manufactura del Vestas V80, así como la energía estimada para el Vestas V27/225 (incluye la energía por etapa de desmantelamiento).

1244

1245

1246

Tabla 3.7 Energía utilizada para el proceso de manufactura

Modelo	Peso (kg)	Energía usada (kWh/aerogenerador)	Energía usada (kWh/kg)
V80 2 MW	318400	3,282,723	10.31
V27 225kW	23,070	237,853.1	10.31

1247

1248 Para la generación del ICV de manufactura se identificaron los elementos de la base de datos
 1249 Ecoinvent 3 en el software SimaPro como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el**
 1250 **origen de la referencia..**

1251

1252

Tabla 3.8 Inventario de ciclo de vida. Etapa de manufactura

ENTRADAS		
Material	Elemento usado	Cantidad (kg)
Cobre	Copper {GLO} market for Alloc Def, U	525.0
Fundición de hierro	Cast iron {GLO} market for Alloc Def, U	1,477.0
Acero	Steel, low-alloyed {GLO} market for Alloc Def, U	18,884.5
Fibra de Vidrio	Glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay -up {GLO} market for Alloc Def, U	2,180.0
Plástico	Polyurethane, flexible foam {GLO} market for Alloc Def, U	3.0
Pintura	Alkyd paint, white, whitout solvent, in 60% solution state {GLO} market for Alloc Def, U	101.7
Energía		
kWh	Electricity, high voltaje {DK} market for Alloc Def, U	237,853.1

1253

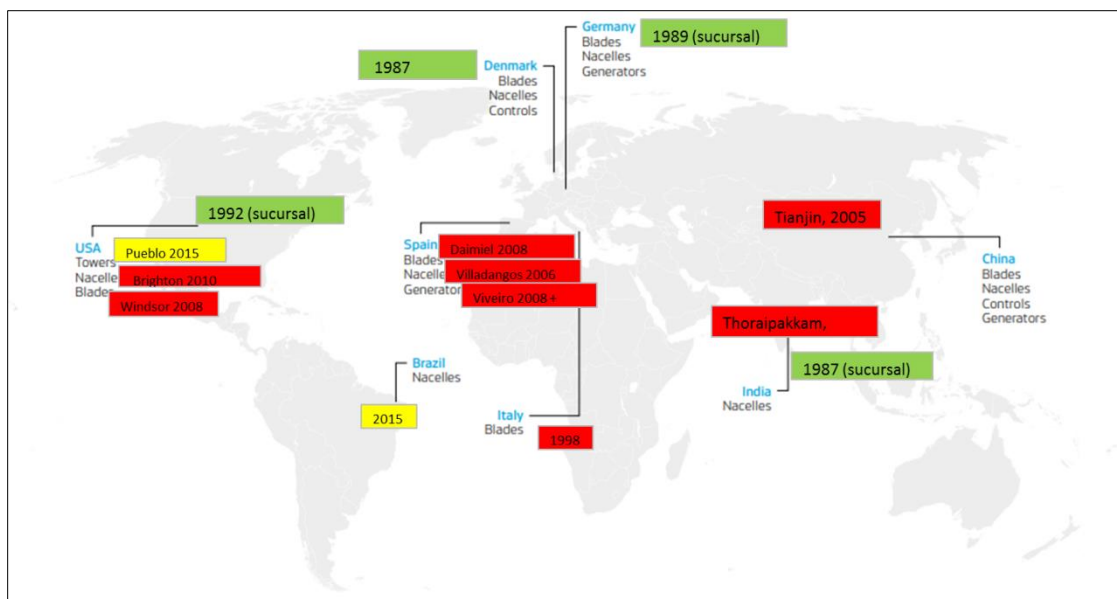
1254

1255 3.2.5 ICV: Etapa de transporte para un aerogenerador Vestas V27/225

1256 En esta etapa de transporte se consideró el inicio del viaje en Dinamarca y el destino México
 1257 en el año 1994. En el sistema existen diversas fases de transporte, sin embargo, en esta etapa
 1258 solo se consideró el transporte del lugar de manufactura al sitio de instalación ya que es el
 1259 más representativo para los cálculos, ya que implica transportar el aerogenerador desde

1260 Dinamarca hasta México. Para el lugar de origen se consideró la primera planta de
1261 aerogeneradores Vestas, que entró en funcionamiento en Dinamarca en el año 1987, ya que
1262 las sedes ubicadas en EUA (1992), Alemania (1989) e India (1987) solo eran sucursales de
1263 venta (Vestas, 2019). En la Figura 3.17 se muestra la localización de las plantas de Vestas y
1264 el año de inicio de operación de ellas, así como los elementos que producen.

1265



1266

1267 Figura 3.17 Localización de las principales plantas de Vestas en el mundo

1268 Fuente: Modificado de Vestas, 2014

1269

1270 En Dinamarca las oficinas centrales de Vestas se localizan en Aarhus. El puerto de Aarhus
1271 (Figura 3.18) es el segundo más grande de Dinamarca, comúnmente usado por Vestas para
1272 la exportación de aerogeneradores (AARHUS HAVN, 2019). De acuerdo a esta información,
1273 se toma este puerto como punto inicial de partida del transporte marítimo.

1274 El puerto de Veracruz es uno de los principales y más antiguos puertos marítimos en el Golfo
1275 de México. En el año de 1991 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) tomó
1276 control administrativo y operacional del puerto de Veracruz, siendo este la principal puerta
1277 de entrada y salida de las importaciones y exportaciones a Europa, América del sur y el sur
1278 de EUA (SCT, 2020). De acuerdo a lo anterior, en este estudio se consideró el puerto de
1279 Veracruz como punto de llegada. Asimismo, se utilizó como punto de salida hacia el destino
1280 final que era Juchitán de Zaragoza, Oaxaca. En la Figura 3.19 se muestran la localización del
1281 puerto de Veracruz en el territorio mexicano.

1282

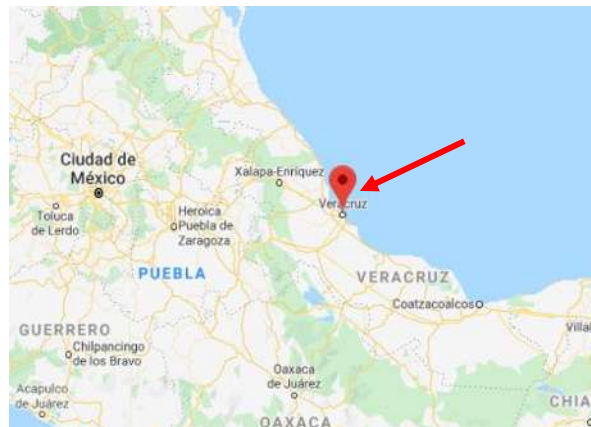


1283

1284

Figura 3.18 Localización del puerto de Aarhus, Dinamarca

1285



1286

1287

Figura 3.19 Localización del puerto de Veracruz en México

1288

Fuente: Google Maps (2020)

1289

1290

1291

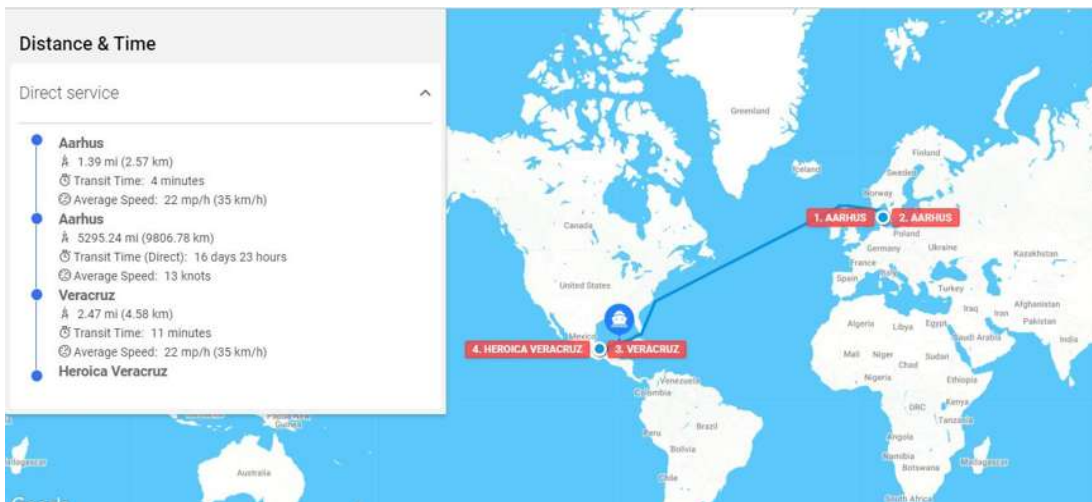
1292

1293

1294

1295

Para trazar la ruta de transporte por vía marítima y terrestre se hizo uso de la aplicación web “SEARATES”. Esta aplicación permitió obtener la ruta marina del puerto de Aarhus, Dinamarca al puerto de Veracruz, México (Figura 3.20). Asimismo, en la Figura 3.21 se muestra la ruta terrestre obtenida del puerto de Veracruz al lugar de instalación en Juchitán de Zaragoza. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las distancias obtenidas por ruta.



1296

1297
1298

Figura 3.20 Ruta de transporte de Dinamarca a México
Fuente: SEARATES (2020)



1299

1300
1301

Figura 3.21 Ruta de transporte del Puerto de Veracruz a Juchitán de Zaragoza, Oaxaca
Fuente: SEARATES (2020)

1302

Tabla 3.9 Distancias recorridas por tipo de transporte

Transporte marino	
Lugar de origen	Aarhus, Dinamarca
Lugar de llegada	Puerto de Veracruz, México
Distancia recorrida (km)	9,806.78
Transporte usado	Buque de carga
Transporte terrestre	
Lugar de origen	Puerto de Veracruz, México
Lugar de llegada	Juchitán de Zaragoza, Oaxaca
Distancia recorrida (km)	436.79
Transporte usado	Tráiler con plataforma

1303 Fuente: Elaboración propia

1304 Para poder hacer uso del ACV durante la etapa de transporte es necesario calcular el indicador
 1305 toneladas-kilometro (tkm). La tkm es una unidad de medida de tráfico del transporte de
 1306 cargas, la cual permite hacer una comparación entre diferentes volúmenes y distancias. Para
 1307 el cálculo del indicador tkm se utiliza la Ecuación 2 .

1308

1309
$$tkm = m * d$$
 Ecuación 2

1310 *Donde:*

1311 tkm= Toneladas-kilometro

1312 m: Masa o cantidad de material transportado

1313 d: Distancia recorrida

1314

1315 Posteriormente la cantidad de “tkm” fue ajustada considerando la distancia recorrida y la
 1316 carga según el elemento transportado. Para la generación del ICV se identificaron los
 1317 elementos de la base de datos Ecoinvent 3 en el software SimaPro como se muestra en la
 1318 Tabla 3.10.

1319

1320 Tabla 3.10 Inventario de ciclo de vida. Transporte de aerogenerador

ENTRADAS					
Transporte marítimo					
Elemento	Elemento usado	Peso (t)	Distancia (km)	tkm	Cantidad
Aerogenerador	Transport, freight, sea, transoceanic ship {GLO} market for Alloc Def, U	23.07	9,806.7	226,242.4	1
Transporte terrestre					
Elemento	Elemento usado	Peso (t)	Distancia (km)	tkm	Cantidad
Góndola	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U	7.9	436.7	3,459.3	1
Pala	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U	0.6	436.8	262.07	3
Cubo	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U	1.2	436.8	515.4	1
Torre	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U	6.1	436.8	2,657.9	2

1321

1322

1323 **3.2.6 ICV: Etapa de instalación, uso y mantenimiento de un aerogenerador Vestas**
1324 **V27/225**

1325 3.2.6.1 Etapa de instalación: cimentación

1326 Después de la llegada de los aerogeneradores a Juchitán de Zaragoza, se hace la cimentación
1327 para su correcta instalación. Para la fabricación de dicha cimentación, de acuerdo a CFE se
1328 usaron los materiales mostrados en la Tabla 3.11. La cimentación está colocada sobre una
1329 capa de concreto de limpieza. La superficie de excavación se establece en la cota -2.10
1330 metros. Se adoptó como cota +0.00 la cota del terreno en el área existente donde se ubicará
1331 la cimentación. La cimentación está constituida por una zapata de concreto armado cuadrada
1332 y un pedestal cilíndrico concéntrico con la torre (Figura 3.22).

1333

1334 Tabla 3.11 Materiales usados para la cimentación de un aerogenerador Vestas V27/225

Material	Cantidad	Unidad
Cemento	7,022.4	kg
Acero de refuerzo	2,564.7	kg
Agua	3,215.7	l
Arena	8.2	m ³
Grava	10	m ³

1335



1336
1337

Figura 3.22 Imagen de referencia de la cimentación para un aerogenerador Vestas V27/225

1338 La conexión eléctrica entre el interior de la torre y la canalización se establece a través de los
1339 correspondientes ductos directamente enterrados en arena que pasan por debajo de la sección
1340 de anclaje de la torre. La virola de cimentación es el tramo de la torre metálica del
1341 aerogenerador que va embebida en la cimentación y pedestal, siendo su altura de 2.10 metros.
1342 En la ubicación final, la virola sobresale del pedestal, quedando su parte más alta a cota
1343 +0.375 m. El pedestal está conectado con la zapata mediante armaduras verticales. La
1344 cimentación se completa con un relleno producto de la excavación. Una vez terminada la
1345 cimentación, se conecta la torre del aerogenerador a la virola.

1346 3.2.6.2 Etapa de uso: producción de energía eléctrica

1347 De acuerdo al oficio con número de folio 1816400125020 proporcionado por la PNT (Anexo
1348 II), durante el periodo 2006-2019 la CFE reportó una producción total de energía de
1349 16,158.95 MW. Sin embargo, el periodo de vida útil varía de acuerdo a cada aerogenerador
1350 (Tabla 3.12). Por lo tanto, para los cálculos de esta tesis se tomó un periodo de vida de 20
1351 años, por lo cual se calculó la energía generada por aerogenerador para ese periodo. En la
1352 Figura 3.23 se muestra la localización de cada aerogenerador en el campo de La Venta I.

1353

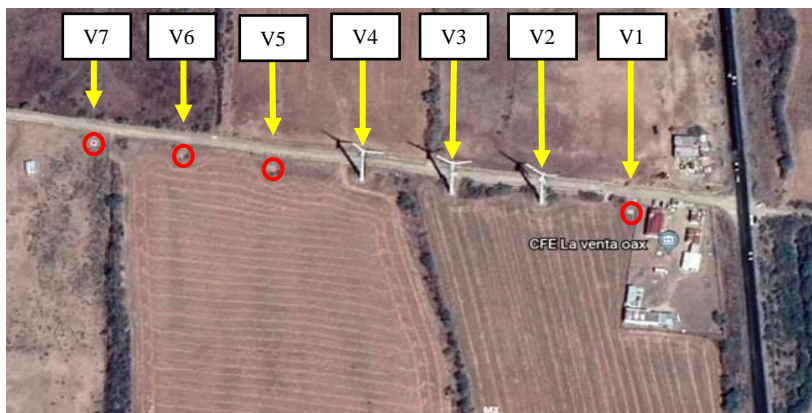


Figura 3.23 Aerogeneradores del campo La Venta I

1354

Tabla 3.12 Tiempo de operación de los aerogeneradores de La Venta I

1355

1356

1357

1358

Aerogenerador	Fecha inicial de operación	Fecha ultima de operación	Tiempo de operación (Días)	Tiempo de operación (Años)	Porcentaje de operación (1994-2019)
V1		05-oct-12	6548	17.9	72
V2		oct-19	9127	25.0	100
V3		oct-19	9127	25.0	100
V4	nov-94	oct-19	9127	25.0	100
V5		05-ago-18	8678	23.8	95
V6		06-dic-06	4418	12.1	48
V7		29-dic-12	6633	18.2	73

1359

1360

1361

1362

1363

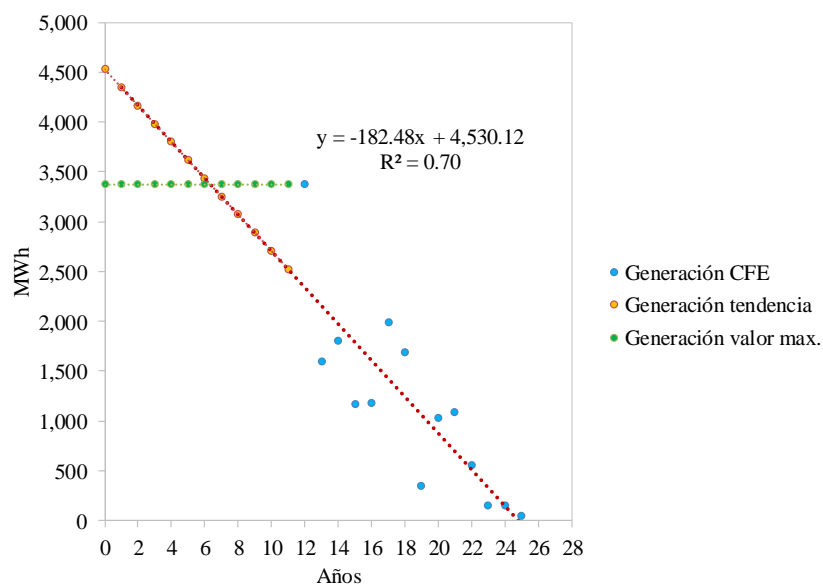
1364

1365

1366

1367

La generación del periodo 1994- 2005 se calculó a través de una regresión lineal a partir de los datos proporcionados por CFE. Asimismo, para corroborar el dato se calculó dicho periodo tomando como valor el máximo de generación obtenido por CFE como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Los datos obtenidos por año se muestran en la Tabla 3.13.



1368

1369

Figura 3.24 Generación eléctrica a 25 años

1370

1371

Tabla 3.13 Generación de energía eléctrica en el periodo 1994-2019

Fecha	Año	Generación V. Tendencia (kWh)	Generación V. Max (kWh)
1994	0	4,530,124.7	3,374,370.4
1995	1	4,347,642.8	3,374,370.4
1996	2	4,165,161.0	3,374,370.4
1997	3	3,982,679.2	3,374,370.4
1998	4	3,800,197.4	3,374,370.4
1999	5	3,617,715.6	3,374,370.4
2000	6	3,435,233.7	3,374,370.4
2001	7	3,252,751.9	3,374,370.4
2002	8	3,070,270.1	3,374,370.4
2003	9	2,887,788.3	3,374,370.4
2004	10	2,705,306.5	3,374,370.4
2005	11	2,522,824.6	3,374,370.4
2006	12	3,374,370.4	3,374,370.4
2007	13	1,597,014.0	1,597,014.0
2008	14	1,798,207.0	1,798,207.0
2009	15	1,170,505.0	1,170,505.0
2010	16	1,184,471.0	1,184,471.0
2011	17	1,985,890.6	1,985,890.6

1372	2012	18	1,693,163.0	1,693,163.0
	2013	19	345,549.3	345,549.3
1373	2014	20	1,025,208.6	1,025,208.6
	2015	21	1,082,122.8	1,082,122.8
1374	2016	22	549,768.0	549,768.0
	2017	23	150,778.6	150,778.6
1375	2018	24	153,305.1	153,305.1
	2019	25	48,600.0	48,600.0
1376				
	Total		58,476,648.9	56,651,398.1
1377	Producción por aerogenerador		8,353,807.0	8,093,056.9
1378				
1379				
1380				
1381				

1382 3.2.6.3 Etapa de mantenimiento

1383 En esta etapa se cuantificaron los materiales necesarios durante el mantenimiento a lo largo
1384 de todo su ciclo de operación. Tal como se mencionó en la sección 3.3.1.3 el mantenimiento
1385 puede ser preventivo y/o correctivo. Para el mantenimiento preventivo de los
1386 aerogeneradores, se consideró el mismo para todos, ya que este está dado por el proveedor
1387 (Tabla 3.14) y en el cual solo se considera la lubricación. Para el caso del mantenimiento
1388 correctivo, se tuvo acceso a la bitácora de mantenimiento de CFE por aerogenerador desde
1389 el año 2007 al 2014. Los principales materiales utilizados para el mantenimiento correctivo
1390 por unidad durante ese periodo se muestran en la Tabla 3.15, sin embargo, se carece de la
1391 información del aerogenerador número 6. Para la generación del ICV de la etapa de uso y
1392 mantenimiento, se identificaron los elementos de la base de datos Ecoinvent 3 en el software
1393 SimaPro como se muestra en la Tabla 3.16

1394

1395

Tabla 3.14 Lubricación de mantenimiento preventivo (aceites y grasas)

Punto de lubricación	Lubricante	Cantidad (L)	Total (20 años)	Lubricante total (L)
Transmisión Hansen	Texaco Meropa 320 (149092)	72	1	72
Unidad Hidráulica	Texaco Rando HDZ 32 (149115)	27	1	27
TOTAL POR AEROGENERADOR (L)				99
TOTAL POR CAMPO DE AEROGENERADORES (L)				693
Punto de lubricación	Lubricante	Cantidad (g)	Total (20 años)	Lubricante total (kg)
Rodamiento de pala, Rollix	Grasa Vestas 7 (149046)	720	40	28.8
Cojinete de biela	SKF LGWM1 (149139)	5	40	0.2
Cojinete trasero y delantero del travesaño	SKF LGWM1 (149139)	25	40	1
Rodamiento de eje de transporte	SKF LGWM1 (149139)	45	40	1.8
Rodamiento del Pitch	SKF LGWM1 (149139)	25	40	1
Cojinetes lisos, Rodamiento del pitch, soporte -cilindro	SKF LGWM1 (149139)	5	40	0.2
Rodamiento principal enfrente y atrás	SKF LGWM1 (149139)	200	40	8
	SKF LGWM1 (149139)	200	40	8
Cojinetes planos en montaje de engranes	SKF LGWM1 (149139)	40	40	1.6
Eje de transmisión	Optitemp PU035 (1490077)	250	40	10
Generador Siemens	Texaco Hytex EP2 (149130)	40	40	1.6
Engranajes de manejo Yaw	Shell Tivela Compound A		1	0
Rodamientos sistema Yaw	Optimol Optipit (149064)	120	40	4.8
Engranajes Yaw	Optimol Optipit (149064)	5	40	0.2
TOTAL POR AEROGENERADOR (kg)				67.2
TOTAL POR CAMPO DE AEROGENERADORES (kg)				470.4

1396

1397

1398

1399

1400

1401

1402 Tabla 3.15 Principales elementos utilizados para el mantenimiento correctivo por aerogenerador
 1403 2007-2014

Material	Cantidad							Total	Promedio (cantidad/ periodo)	Unidad
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7			
Aceite Hidráulico	38	15	21	3	19	0	0	96	13.7	L
Aceite para transmisión	10	8	0	5	0	0	0	23	3.3	L
Bolsa p/ basura	8	16	16	13	11	0	6	70	10.0	Pza.
Grasa	3.5	5.4	3.6	3.7	2.4	0	0	18.5	2.6	kg
Papel industrial	15.8	16.8	16.3	26	8	0	10	92.8	13.3	Rollo
Solvente	5.5	11.8	4	11.8	4	0	2.5	39.5	5.6	L

1404

1405 Tabla 3.16 Inventario de ciclo de vida: etapa de uso y mantenimiento

ENTRADAS			
Cimentación			
Material	Elemento usado	Cantidad	Unidad
Cemento	Cement, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U	7,022.4	kg
Acero de refuerzo	Steel, low-alloyed {GLO} market for Alloc Def, U	2,564.7	kg
Agua	Water, deionised, from a tap wáter, at user {GLO} market for Alloc Def, U	3,215.7	kg
Arena	Sand {GLO} market for Alloc Def, U	12,838.8	kg
Grava	Gravel, crushed {GLO} market for Alloc Def, U	16,050.3	kg
Mantenimiento			
Material	Elemento usado	Cantidad	Unidad
Aceite	Lubricating oil {GLO} market for Alloc Def, U	116.0	L
Bolsas de plástico	Packing film, low density polyethylene {GLO} market for Alloc Def, U	10.0	Pza.
Grasa	Lubricating oil {GLO} market for Alloc Def, U	69.8	kg
Papel industrial	Tissue paper {GLO} market for Alloc Def, U	13.3	Rollo

Solvente - Ethylene glycol monoethyl ether {GLO}|market 5.6 L
 desengrasante for| Alloc Def, U
 2-butoxietanol
 (< 6%)

SALIDAS		
Energía	Cantidad	Unidad
Energía eléctrica	8,353,807.0	kWh

1406

1407 **3.2.7 ICV: Etapa de disposición final y escenarios de residuos**

1408 3.2.7.1 Fase de final de vida útil

1409 Una vez concluido el ciclo de vida de un aerogenerador se presentan dos posibles escenarios:

- 1410 1. **Desmantelamiento.** Los distintos materiales que componen el aerogenerador se
 1411 clasifican para su reciclaje, incineración y/o transporte a relleno sanitario.
 1412 2. **Repotenciación.** Modificación de un parque eólico para continuar la operación del
 1413 mismo, que suponga solamente la sustitución total o parcial de los aerogeneradores o
 1414 de cualquiera de sus elementos principales (para este estudio no se contempló este
 1415 escenario).

1416

1417 3.2.7.2 Fase de desmantelamiento

1418 Esta etapa se lleva a cabo en México con diferentes fechas de acuerdo a cada aerogenerador.
 1419 Como se mencionó anteriormente, tres de los siete aerogeneradores aún continúan operando
 1420 (2020). A esta etapa solo se llega por obsolescencia o por siniestro como ha ocurrido con los
 1421 cuatro aerogeneradores fuera de servicio en La Venta I. De acuerdo al oficio con número de
 1422 folio 1816400307219 proporcionado por la PNT (Anexo I), se obtuvo información del
 1423 proceso de desmantelamiento de los aerogeneradores de La Venta I. En ese oficio se informó
 1424 que el proceso por aerogenerador tuvo una duración aproximada de tres días, el costo fue de
 1425 \$1,100,000/ aerogenerador. Además de acuerdo a otro oficio de la PNT con folio
 1426 1816400033820 (Anexo II), se informó que para el proceso de desmantelamiento se
 1427 necesitaron los elementos de la Tabla 3.17. En la Figura 3.25 se muestran algunos
 1428 componentes del aerogenerador Vestas V27/225 derivados del proceso de desmantelamiento.

1429

1430

Tabla 3.17 Elementos utilizados para el desmantelamiento de un aerogenerador Vestas V27/225

Listado de elementos para el proceso de desmantelamiento

Grúa con pluma telescópica de 50 m y 20T

Grúa Hiab

Planta de luz

Eslingas

Estrobos

Grilletes

Cadenas

Herramienta manual

Herramienta hidráulica



1432

1433

Figura 3.25 Componentes del aerogenerador Vestas V27/225 esperando su correcta disposición

1434

3.2.7.3 Escenario de disposición de residuos

1435

Una vez desmantelado el material del aerogenerador tiene 2 dueños posibles (comunicación personal con el ingeniero José Benítez 2019), si el aerogenerador concluyó operación por siniestro el material pasa a ser propiedad de la aseguradora AXA, pero si el aerogenerador concluyó operación por fin de vida útil el material pasa a ser propiedad del Servicio de Administración y Enajenación de Bienes (SAE)

1440

El escenario de disposición de residuos que cumpliría con la normativa Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR). DOF 08-10-2003 es el mostrado

1441

1442 en la Tabla 3.18 . La cimentación no se considera en el escenario de disposición de residuos
 1443 ya que esta no es retirada de su sitio de instalación.

1444 Tabla 3.18 Disposición de los residuos generados a partir del desmantelamiento

Residuo	Disposición	Norma
Acero, Fundición de hierro y cobre	Reciclaje	LGPGIR. DOF 08-10-2003 Art. 30. La determinación de residuos que podrán sujetarse a planes de manejo se llevará a cabo con base en los criterios siguientes y los que establezcan las normas oficiales mexicanas: I. Que los materiales que los componen tengan un alto valor económico.
Fibra de vidrio, plástico	Relleno sanitario	LGPGIR. DOF 08-10-2003 Art. 19. - Los residuos de manejo especial se clasifican como se indica a continuación, salvo cuando se trate de residuos considerados como peligrosos en esta Ley y en las normas oficiales mexicanas correspondientes: VIII. Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores y otros que, al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico.
Grasa, aceite, papel industrial	Incineración	LGPGIR. DOF 08-10-2003 Art. 31. Estarán sujetos a un plan de manejo los siguientes residuos peligrosos y los productos usados, caducos, retirados del comercio o que se desechen y que estén clasificados como tales en la norma oficial mexicana correspondiente: I. Aceites lubricantes usados.

1445

1446 Posterior al desmantelamiento de un aerogenerador resultan de gran atracción aquellos
 1447 materiales con un valor comercial en el mercado del reciclaje. En la Tabla 3.19 se muestran
 1448 de acuerdo a TAXUS (2018), los componentes de un aerogenerador, así como los principales
 1449 materiales que los conforman y los distintos panoramas para su disposición al final de su vida
 1450 útil.

1451 Investigaciones cuanto a la recuperación de los distintos materiales de los aerogeneradores
 1452 tienen gran similitud y pueden servir de referencia para el desarrollo de esta etapa para el
 1453 aerogenerador Vestas V27/225. De acuerdo al ACV de un aerogenerador Vestas V90- 2MW
 1454 (Vestas, 2011) la recuperación de los materiales está dada en la Tabla 3.20. La recuperación
 1455 de materiales según el estudio de “Reemplazo de viejos aerogeneradores evaluado a partir de
 1456 la energía, medio ambiente y perspectivas económicas” del departamento de tecnología de la
 1457 Universidad de Kalmar (2004) se muestra en la Tabla 3.21.

1458

1459

1460

Tabla 3.19 Composición y disposición final de los principales elementos de un aerogenerador

Elemento		Composición	Disposición final	
Rotor	Palas	Fibra de vidrio y resina	*Valorización como combustible y materia prima de proceso en la producción industrial de Cemento Clinker. Este proceso requiere tratamiento físico previo que permita su introducción de forma controlada en los hornos de producción del Clinker. *Reciclaje del material para la producción de otros componentes a través de proceso de separación de los diferentes componentes (proceso de pirólisis). A través de este proceso, se obtiene de nuevo, la fibra de vidrio por un lado y la resina por el otro, si bien la fibra de vidrio recuperada de esta forma- no conserva la totalidad de las propiedades iniciales, es por esto que en función de las características de los materiales recuperados, se determinan las vías de recuperación de los mismos.	
Góndola	Buje	Acero Mecanizado	Reciclado como chatarra de acero	
	Generador	Carcasa y soporte de acero y alrollamiento de cableado de cobre	El acero y el cobre son destinados al reciclaje como chatarra	
	Eje lento y rápido	Acero	Reciclado como chatarra de acero	
	Multiplicadora	Acero	*Si se encuentra en buen estado se podrá reutilizar como recambio para otros aerogeneradores. En el caso de encontrarse inutilizada se procederá al desmantelamiento de las piezas mas pequeñas que se destinarán a reciclaje como chatarra. *Previamente al desmantelamiento, se retirará d forma controlada la totalidad dl aceite hidráulico y lubricante en el interior de la multiplicadora, así como los conductos y filtros hidráulicos. Tanto aceites como filtros se reciclarán a través de gestor autorizado, mediante procesos de valorización energética. En aquellos casos en la que la generación de residuos de filtros sea lo suficientemente pequeña, se valorará la posibilidad de gestionarlos como residuos en lugar de su envío a valorización.	
	Motor de giro y reductoras	Acero y hierro	*Son aprovechados como repuestos en otras máquinas similares *Debido a la compatibilidad de los motores en otras aplicaciones fuera del sector eólico estos motores podrán ser aprovechados en el mercado de equipos usados. *Si los equipos se encuentran muy deteriorados, se destinarán al reciclaje como chatarra.	
	Transformador	Alambre de cobre y materiales féreos en el armazón y la carcasa	* El armazón y la carcasa exterior se destinarán a chatarra y el cobre generado se recuperará para su refundición.	
	Grupo hidráulico	Grupo de presión	Acero	*Repuesto si esta en buenas condiciones
		Conductos hidráulicos	Polímeros sintéticos y caucho reforzados internamente con mallas de hilo de acero.	* Valorización (por gestor autorizado) como combustible energético o como materia prima para la fabricación de mobiliario urbano
Válvulas de control		Acero y aleaciones de latón	*Reciclaje como chatarra	
	Bastidor delantero y trasero	Acero mecano soldado	*Reciclaje como chatarra.	
	Cuadro eléctrico y de control	Cables fabricados en cobre y cables con aluminio. El aislamiento exterior está fabricado en PVC, polietileno (PE) u otros polímeros	* Trituración inicial del cable y la separación del conductor metálico y del aislante plástico. *La parte aislante de PVC o PE, es aprovechable en diversas aplicaciones como materia prima para la fabricación de herramientas y aplicaciones para la jardinería. *Adicionalmente deben ser tenidos en cuenta a la hora del desmantelamiento, todos aquellos componentes del sistema de control que estén fabricados con plomo en una matriz de vidrio o cerámica. Igualmente, las lámparas de descarga y pantallas de instrumentos deben gestionarse de forma controlada debido al contenido en metales pesados como plomo y mercurio. Ambos elementos son considerados como peligrosos	
	Carcasa	Fibra de vidrio y resina	*Valorización como combustible y materia prima de proceso en la producción industrial de Cemento Clinker. Este proceso requiere tratamiento físico previo que permita su introducción de forma controlada en los hornos de producción del Clinker. *Reciclaje del material para la producción de otros componentes a través de proceso de separación de los diferentes componentes (proceso de pirólisis). A través de este proceso, se obtiene de nuevo, la fibra de vidrio por un lado y la resina por el otro, si bien la fibra de vidrio recuperada de esta forma- no conserva la totalidad de las propiedades iniciales, es por esto que en función de las características de los materiales recuperados, se determinan las vías de recuperación de los mismos.	
	Elementos de calderería y tornillería	Acero, aluminio y otras aleaciones como el latón	*Reaprovechamiento como chatarra para su refundición, posteriormente a la segregación de los mismos en función de su naturaleza material.	
	Aceites y líquidos refrigerantes (hidráulicos y mecánicos)		*Debido a la composición de los mismos, estos aceites son considerados peligrosos y su eliminación está sometida a control. Deben ser retirados de forma controlada, previamente al inicio de los trabajos de desmontaje. * Los aceites usados, una vez recuperados de forma adecuada, tienen la posibilidad de ser reprocesados para su uso como combustible en plantas de generación de energía. *Los líquidos de refrigeración deben ser igualmente retirados de forma controlada, especialmente cuando se traten de soluciones que contengan cromo hexavalente. Debido a su gran toxicidad, estas disoluciones serán tratadas en plantas especiales para la eliminación de los componentes peligrosos.	
	Torre	Acero, hierro galvanizado y pintura	* Reciclaje como chatarra.	
	Cimentación	Concreto y acero	*El acero se recicla como chatarra *El concreto se puede eliminar a través de depósito en vertedero de residuos inertes (RCD), o su reciclaje como aglomerados para usos en la construcción	

1461

1462

Fuente: Elaboración propia a partir de TAXUS, 2018

1463

Tabla 3.20 Disposición y recuperación de materiales de un aerogenerador Vestas V90-2MW

Material	Disposición	Porcentaje
Acero	Reciclado	90%
Cobre	Reciclado	90%
Aluminio	Reciclado	90%

Polímeros	Incineración/ Relleno sanitario	50% / 50%
Lubricantes	Incineración	100%
Todos los demás materiales incluyendo concreto	Relleno sanitario	100%

1464

1465 Fuente: Modificado de Vestas, 2011

1466

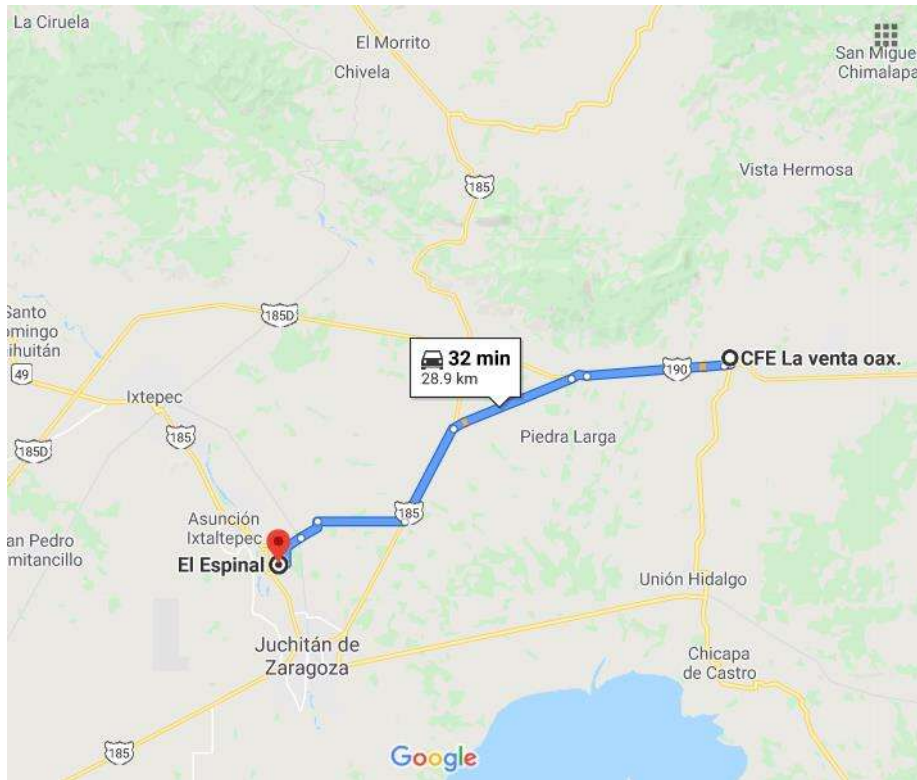
1467 Tabla 3.21 Disposición y recuperación de materiales de viejos aerogeneradores

Material	Disposición	Porcentaje
Acero y hierro maleable	Recuperación	90%
Cobre	Recuperación	95%
Aluminio	Recuperación	95%
Fibra de vidrio, caucho, aceite y plásticos remanentes	Incineración	100%
Plásticos PVC y polietileno de alta densidad	Relleno sanitario	100%
Concreto	Relleno sanitario Re-uso	50% / 50%

1468 Fuente: Modificado de Universidad de Kalmar (2004)

1469

1470 De acuerdo al programa estatal para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos
 1471 urbanos y de manejo especial en el estado de Oaxaca, al municipio de Juchitán de Zaragoza
 1472 le corresponde el relleno sanitario llamado “El Espinal”. Este sitio se encuentra a 9.1 km de
 1473 dicho municipio y a 28.9 km de La Venta como se muestra en la Figura 3.26. Además, para
 1474 esta tesis se consideró que el proceso de reciclaje se lleva a cabo en el estado de Puebla, uno
 1475 de los lugares más importantes de México para el proceso de reciclaje de metales y el punto
 1476 más cercano a Oaxaca. En la Figura 3.27 se muestra la ruta de transporte desde Juchitán de
 1477 Zaragoza hasta Puebla.



1478

1479

Figura 3.26 Distancia entre La Venta - El Espinal



1480

1481

Figura 3.27 Distancia Juchitán- Puebla

1482 Para la generación del ICV de la etapa de escenario de residuos, se determinó el reciclaje de
 1483 los metales al 90%, la incineración de residuos peligrosos y los materiales restantes a relleno
 1484 sanitario. Los elementos identificados de la base de datos Ecoinvent 3 en el software SimaPro
 1485 se muestran en la Tabla 3.22.

1486

1487

Tabla 3.22 Inventario de ciclo de vida. Etapa de escenario de residuos

SALIDAS			
RECICLAJE			
Material	Cantidad	Unidad	Elemento usado
Cobre	472.50	kg	Aluminium (waste treatment) {GLO} recycling of aluminium Alloc Def, U
Fundición de hierro	1329.30	kg	Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron
Acero	18196.05	kg	Steel and iron (waste treatment) {GLO} recycling of steel and iron
Transporte de media torre	3647.70	tkm	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U
Transporte de media torre	3647.70	tkm	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U
Transporte de metales	4862.30	tkm	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U
RELLENO SANITARIO			
Material	Cantidad	Unidad	Elemento usado
Bolsas de plástico	10.00	Pza.	Municipal solid waste {RoW} market for Alloc Def, U
Fibra de Vidrio	2180.00	kg	Municipal solid waste {RoW} market for Alloc Def, U
Plástico	3.06	kg	Municipal solid waste {RoW} market for Alloc Def, U
Remanente de cobre	52.5	kg	Municipal solid waste {RoW} market for Alloc Def, U
Remanente de fundición de hierro	147.7	kg	Municipal solid waste {RoW} market for Alloc Def, U

Remanente de acero	688.45	kg	Municipal solid waste {RoW} market for Alloc Def, U
Transporte a relleno sanitario	88.8	tkm	Transport, freight, lorry, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U
INCINERACIÓN			
Material	Cantidad	Unidad	Elemento usado
Aceite	116.00	L	Waste mineral oil {RoW} treatment of, hazardous waste incineration Alloc Def, U
Grasa	69.80	kg	Waste mineral oil {RoW} treatment of, hazardous waste incineration Alloc Def, U
Papel industrial	13.30	Rollo	Waste packaging paper {RoW} treatment of, municipal incineration Alloc Def, U

1488

1489

1490 3.3 FASE 3: EVALUACIÓN DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA (EICV)

1491

1492 La etapa de EICV evalúa el impacto ambiental derivado de algún producto o servicio
1493 relacionado con los insumos necesarios durante el proceso requerido. El objetivo de este
1494 ACV fue determinar las contribuciones por impactos ambientales potenciales de cada etapa
1495 del ciclo de vida del campo de aerogeneradores La Venta I en Juchitán de Zaragoza, Oaxaca.

1496 3.3.1 Contribución del impacto ambiental por las distintas etapas del ACV

1497 Los resultados obtenidos mediante la evaluación del sistema en el software SimaPro se
1498 muestran en la Figura 3.28, donde se muestran las contribuciones del impacto ambiental por
1499 las distintas etapas del ACV. De acuerdo al análisis de normalización, los resultados muestran
1500 mayores impactos en la etapa de manufactura con una contribución de 51%, seguido de la
1501 etapa de obtención de materia prima con una contribución de 44.3% (en la Tabla 3.23 se
1502 muestra la contribución por cada etapa del ACV para este estudio).

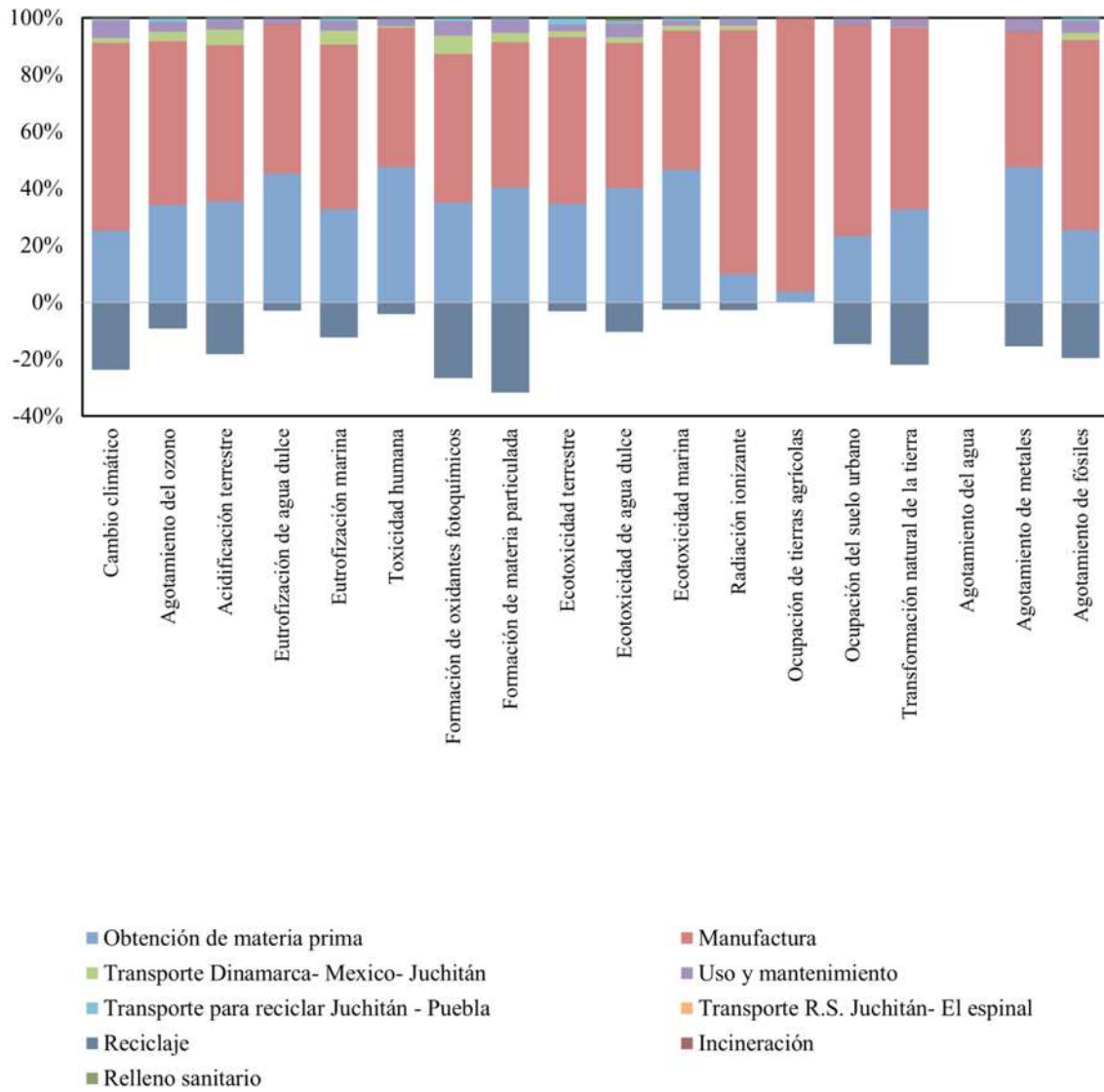


Figura 3.28 Análisis de normalización. Contribuciones del impacto ambiental por las distintas etapas del ACV

Tabla 3.23 Contribución por cada etapa del ACV

Etapa	Contribución de impacto %
Obtención de materia prima	44.29%
Manufactura	51.04%

Transporte Dinamarca- México- Juchitán	0.95%
Uso y mantenimiento	3.25%
Transporte para reciclar Juchitán - Puebla	0.43%
Transporte R.S. Juchitán- El espinal	0.00%
Reciclaje	-9.05%
Incineración	0.01%
Relleno sanitario	0.02%

1508

1509

1510 **3.3.2 Clasificación del impacto ambiental del campo de aerogeneradores La Venta**

1511 **I**

1512 La clasificación de los impactos ambientales es de carácter obligatorio cuando se realiza un
 1513 ACV de acuerdo con la norma ISO14040:2006. En la Tabla 3.24 se muestran las
 1514 contribuciones significativas y la clasificación de dichos impactos ambientales ocasionados
 1515 por el campo de aerogeneradores de La Venta I (el desglose completo de las contribuciones
 1516 se encuentra en Anexo III). De acuerdo a este análisis, los resultados del ICV muestran
 1517 mayores impactos en la etapa de manufactura. Sin embargo, la etapa de manufactura
 1518 pertenece a Dinamarca por lo que dichos impactos ambientales se refieren a esa zona.

1519 Tabla 3.24 Principales impactos ambientales por contribución crítica y relevante

Lugar de impacto	Etapas del ACV	Categoría de impacto crítica (> 50% de contribución)	Contribución %	Categoría de impacto relevante (> 70% de contribución)	Contribución %
Dinamarca	Obtención de materia prima	—	—	—	—
	Manufactura	Cambio climático	65.9	Radiación ionizante	85.6
		Agotamiento del ozono	57.6	Ocupación de tierras agrícolas	96.1
		Acidificación terrestre	55.1	Ocupación del suelo urbano	74.1

		Eutrofización marina	57.9	Agotamiento del agua	79.8
		Formación de oxidantes fotoquímicos	52.2	—	—
		Formación de materia particulada	51	—	—
		Ecotoxicidad terrestre	58.7	—	—
		Transformación natural de la tierra	64.1	—	—
		Eutrofización de agua dulce	52.6	—	—
		Ecotoxicidad de agua dulce	51.2	—	—
		Agotamiento de fósiles	66.7	—	—
		Transporte	—	—	—
		Uso y mantenimiento	—	—	—
México	Escenario de residuos	Reciclaje	—	—	—
		Incineración	—	—	—
		Relleno sanitario	—	—	—

1520

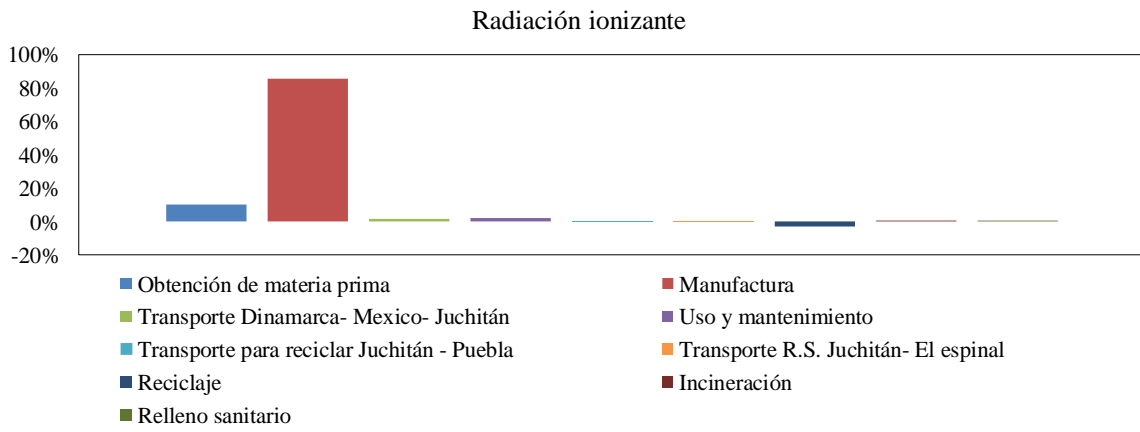
1521 3.3.3 Impacto ambiental por categoría relevante

1522 3.3.3.1 Radiación ionizante

1523 La Figura 3.29 muestra el impacto potencial a la categoría de radiación ionizante en el ACV
 1524 del aerogenerador Vestas V27/225. De acuerdo a los resultados, la etapa de manufactura
 1525 contribuye con el 85.6% del total de kBq U235 eq (12,676.7 kBq U235 eq). Sin embargo, la
 1526 etapa de reciclaje tiene el potencial de reducir 2.8% dichos impactos totales. La principal
 1527 actividad responsable de este impacto es la generación de la energía eléctrica para el uso en
 1528 la manufactura del aerogenerador como se muestra en la Figura 3.30.

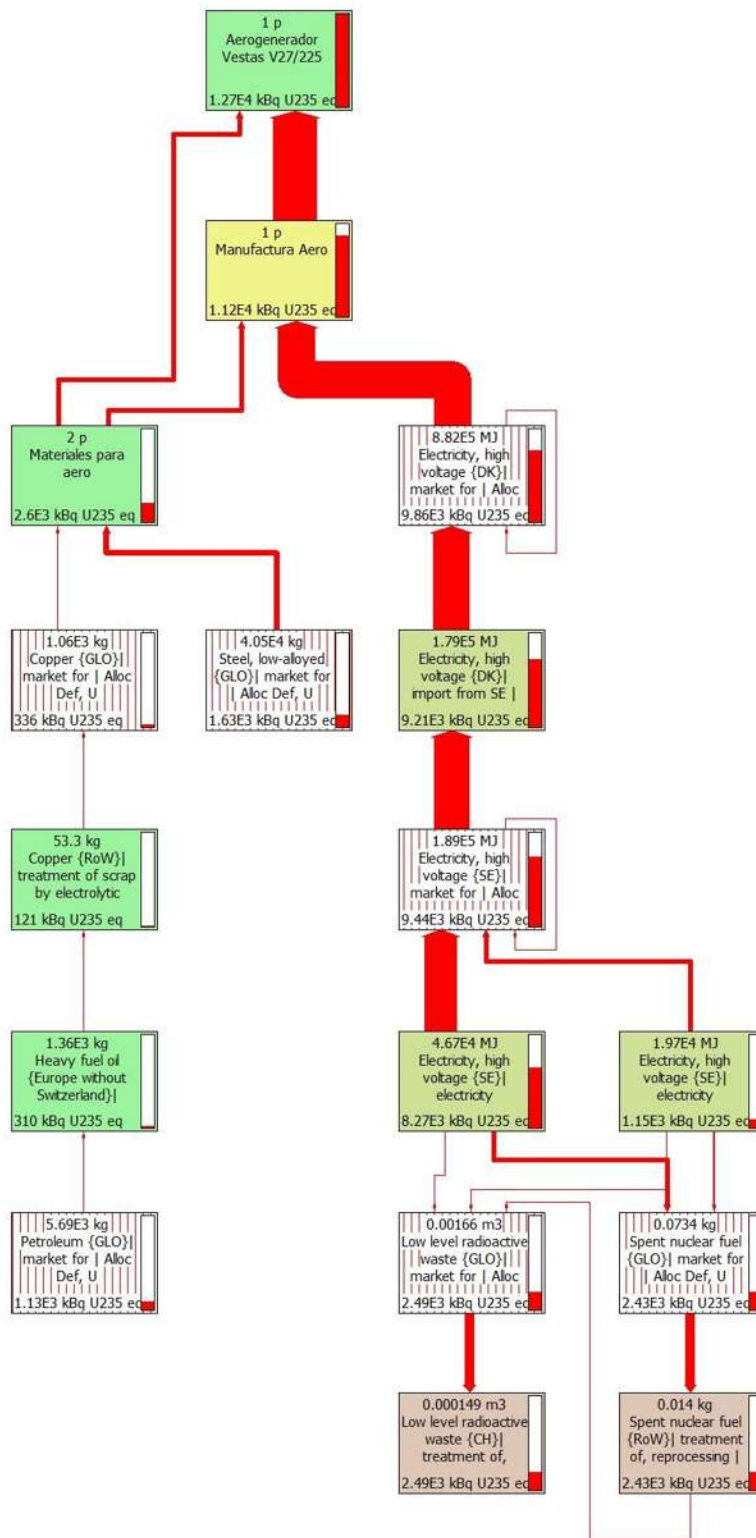
1529

1530



1531
 1532
 1533
 1534

Figura 3.29 Distribución de los impactos por radiación ionizante en el ACV de un aerogenerador Vestas V27/225



1535

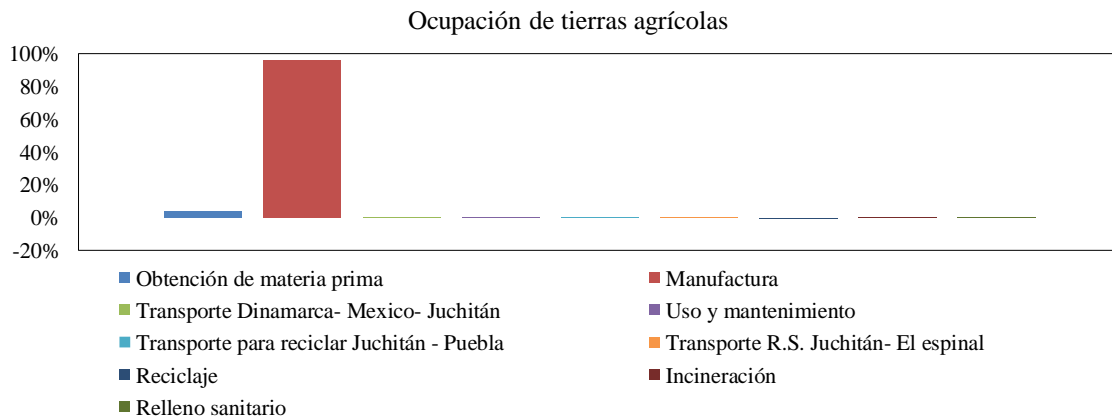
1536

Figura 3.30 Principales contribuciones al impacto total por radiación ionizante

1537

1538 3.3.3.2 Ocupación de tierras agrícolas

1539 La Figura 3.31 muestra el impacto potencial a la categoría de ocupación de tierras agrícolas
1540 en el ACV del aerogenerador Vestas V27/225. De acuerdo a los resultados, la etapa de
1541 manufactura contribuye con el 96.2% del total de m²a (54,177 m²a). Sin embargo, la etapa
1542 de reciclaje tiene el potencial de reducir 0.28% dichos impactos totales. La principal actividad
1543 responsable de este impacto es la generación de la energía eléctrica para el uso en la
1544 manufactura del aerogenerador como se muestra en la Figura 3.32.
1545



1546

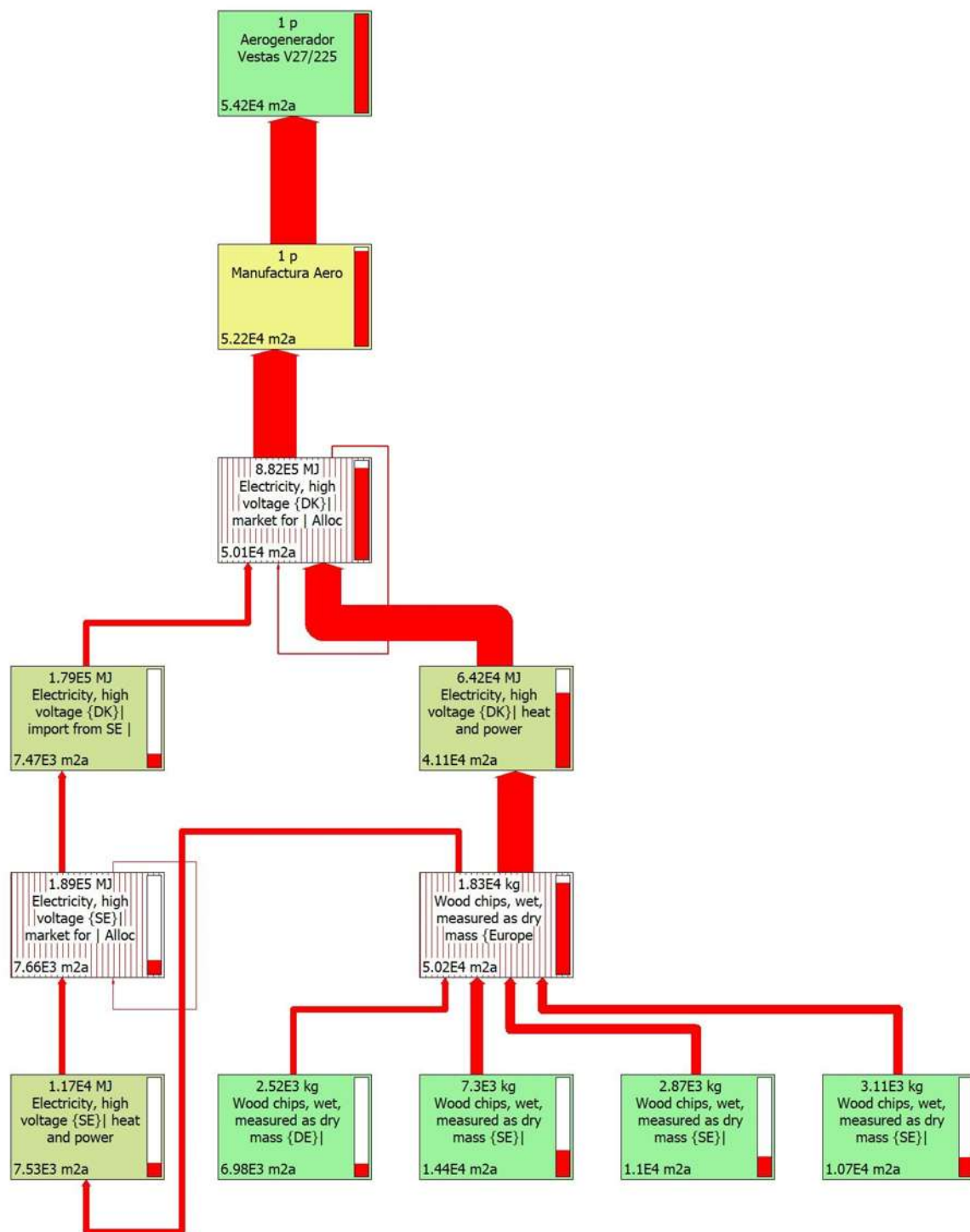
1547 Figura 3.31 Distribución de los impactos por ocupación de tierras agrícolas en el ACV de un
1548 aerogenerador Vestas V27/225

1549

1550

1551

1552



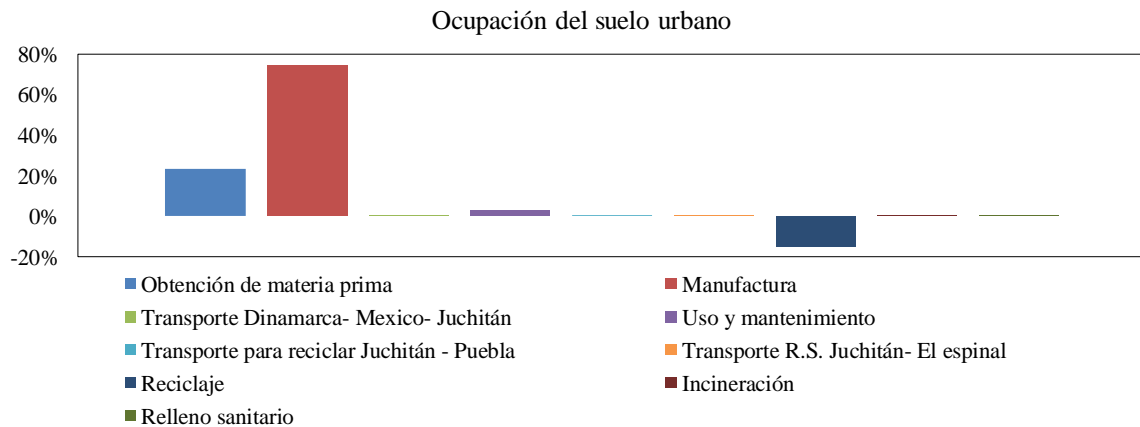
1553

1554 Figura 3.32 Principales contribuciones al impacto total por ocupación de tierras agrícolas

1555

1556 3.3.3.3 Ocupación del suelo urbano

1557 La Figura 3.33 muestra el impacto potencial a la categoría de ocupación del suelo urbano en
1558 el ACV del aerogenerador Vestas V27/225. De acuerdo a los resultados, la etapa de
1559 manufactura contribuye con el 74.2% del total de m²a (1,329.5 m²a). Sin embargo, la etapa
1560 de reciclaje tiene el potencial de reducir 14.82% dichos impactos totales. La principal
1561 actividad responsable de este impacto es la generación de la energía eléctrica para el uso en
1562 la manufactura del aerogenerador como se muestra en la Figura 3.34.
1563



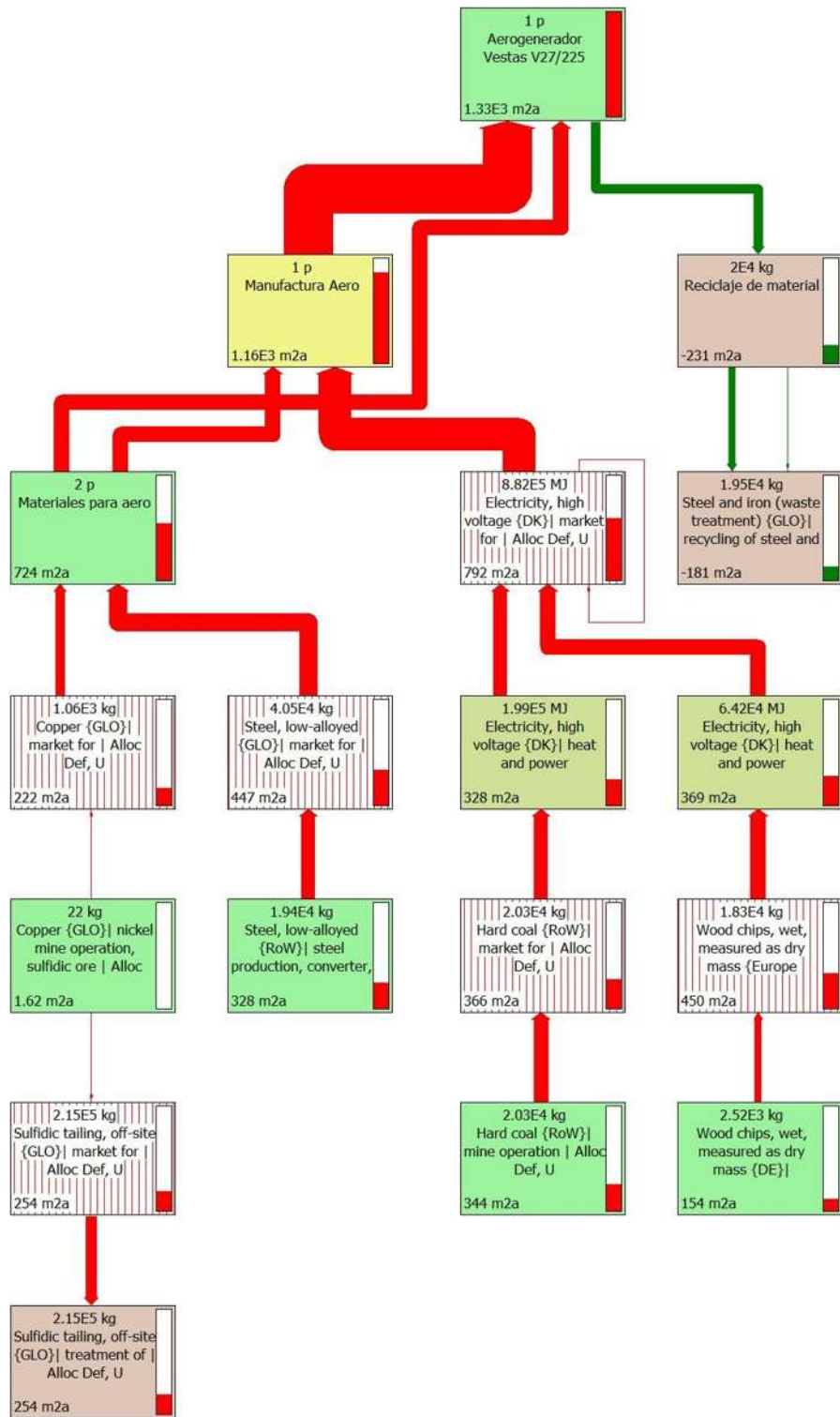
1564

1565 Figura 3.33 Distribución de los impactos por ocupación del suelo urbano en el ACV de un
1566 aerogenerador Vestas V27/225

1567

1568

1569



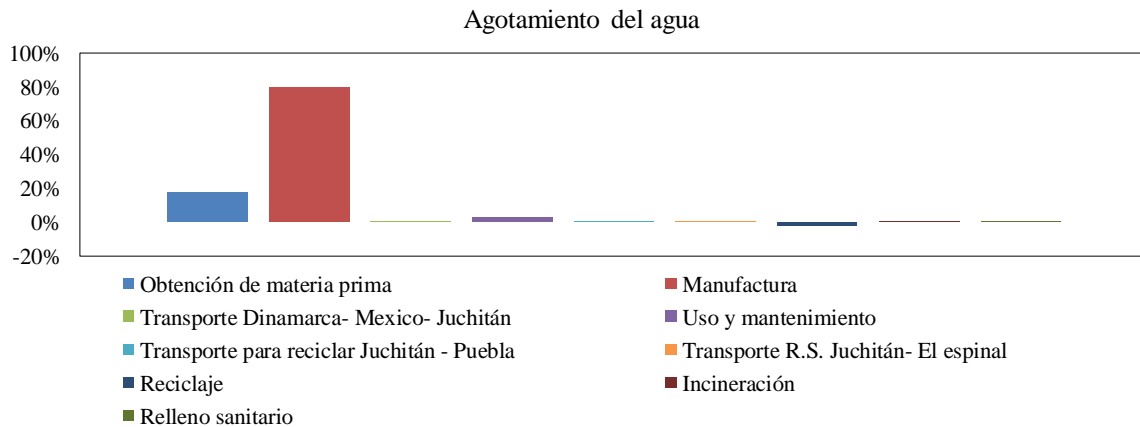
1570

1571

Figura 3.34 Principales contribuciones al impacto total por ocupación del suelo urbano

1572 3.3.3.4 Agotamiento del agua

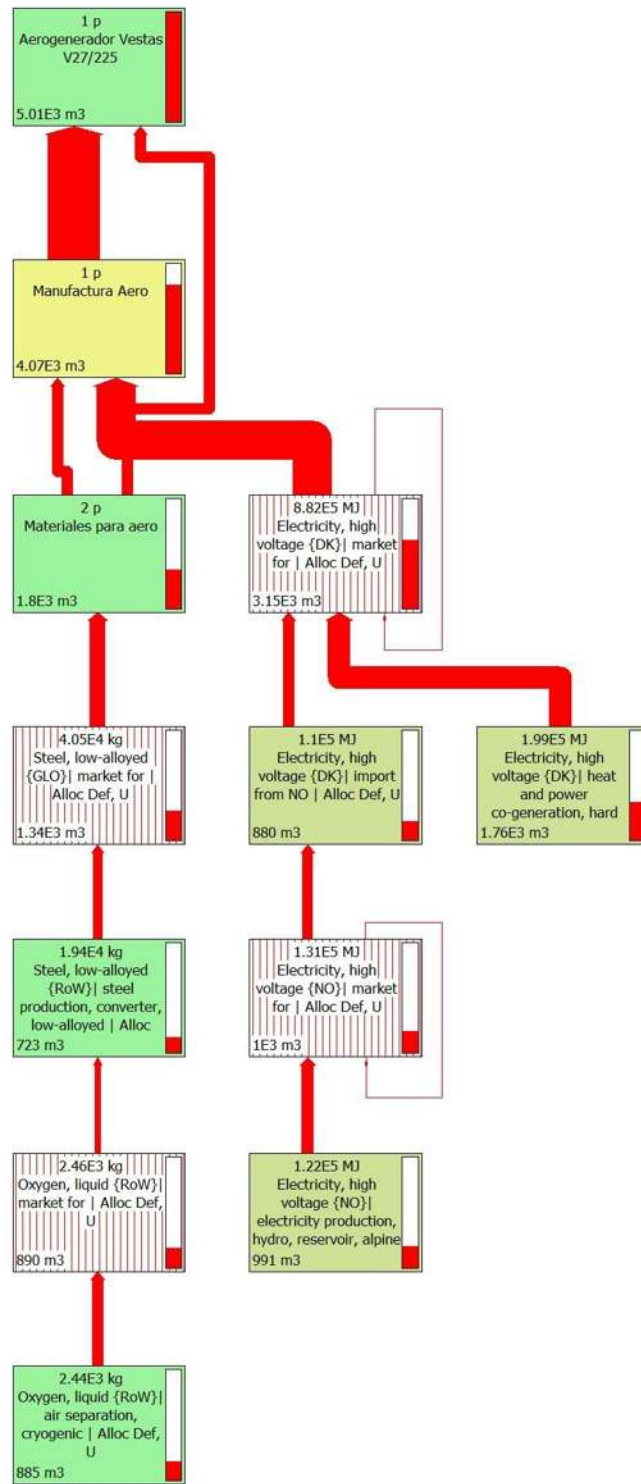
1573 La Figura 3.35 muestra el impacto potencial a la categoría de ocupación del suelo urbano en
1574 el ACV del aerogenerador Vestas V27/225. De acuerdo a los resultados, la etapa de
1575 manufactura contribuye con el 79.8% del total de m³ (5,006.5 m³). Sin embargo, la etapa de
1576 reciclaje tiene el potencial de reducir 1.82% dichos impactos totales. La principal actividad
1577 responsable de este impacto es la generación de la energía eléctrica para el uso en la
1578 manufactura del aerogenerador como se muestra en la Figura 3.36.
1579



1580

1581 Figura 3.35 Distribución de los impactos por agotamiento del agua en el ACV de un aerogenerador
1582 Vestas V27/225

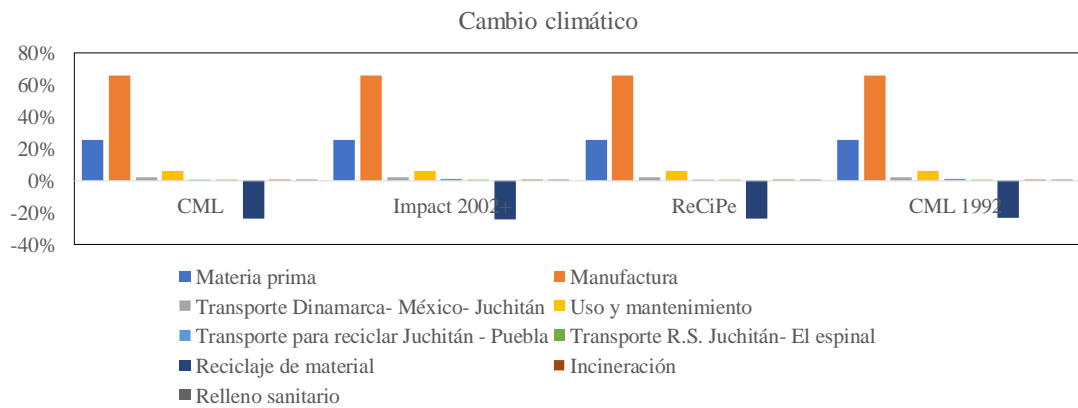
1583



1584

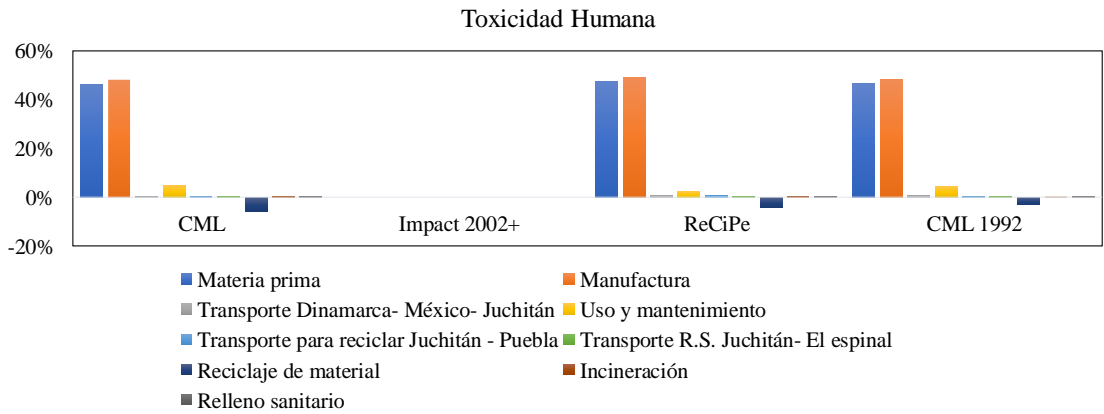
1585

Figura 3.36 Principales contribuciones al impacto total por agotamiento del agua



1596

1597 Figura 3.37 Comparación de resultados de diversos métodos en la categoría de cambio climático

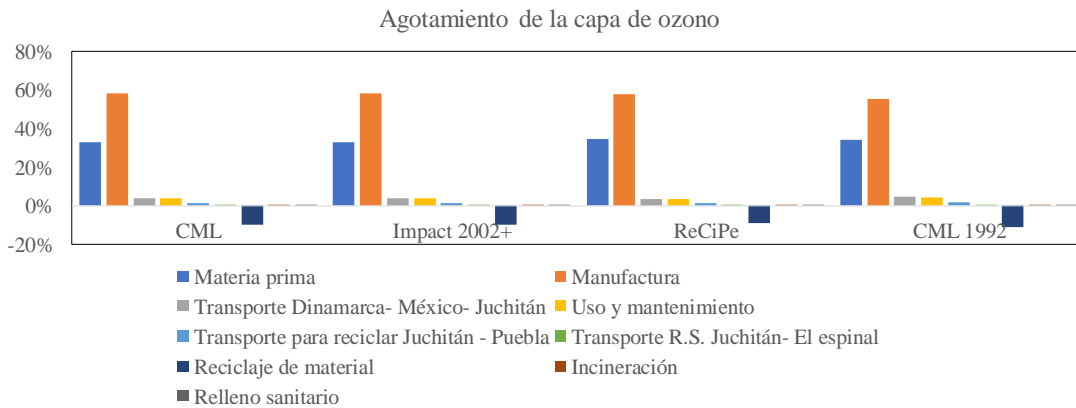


1598

1599 Figura 3.38 Comparación de resultados de diversos métodos en la categoría de toxicidad humana

1600

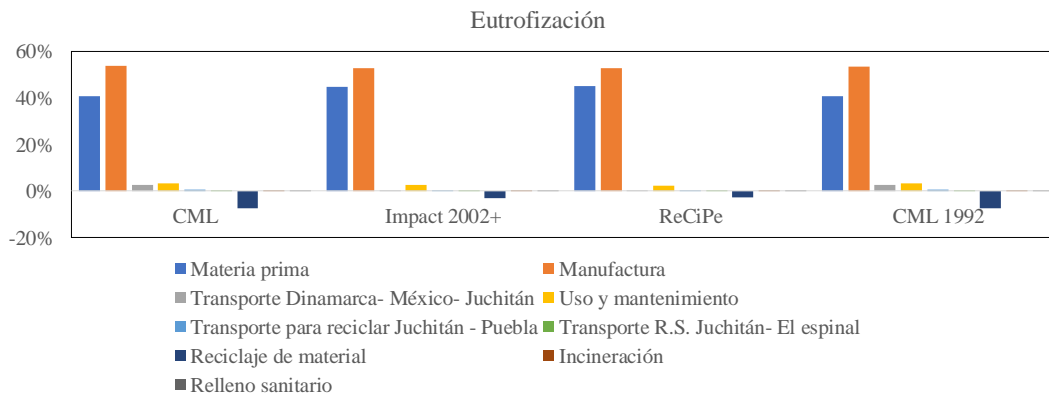
1601



1602

1603 Figura 3.39 Comparación de resultados de diversos métodos en la categoría de agotamiento de la
1604 capa de ozono

1605



1606

1607

1608 Figura 3.40 Comparación de resultados de diversos métodos en la categoría de eutrofización

1609

1610 De acuerdo a los resultados de la EICV y a las verificaciones de integridad, sensibilidad y
1611 consistencia se concluye lo siguiente:

1612

1613

1614

1615

1616

1617

- Al comparar los resultados de la EIC de los métodos CML, IMPACT 2002+, ReCiPe Midpoint y CML 1992 en las categorías de impacto relevantes se observaron resultados similares.
- Según la magnitud del impacto, la etapa de manufactura presentó mayores impactos ambientales hacia las categorías de radiación ionizante, ocupación de tierras agrícolas, ocupación del suelo urbano y agotamiento del agua.

- 1618 • La generación de CO₂ eq/kW sin proceso de reciclaje en la disposición de residuos
1619 es de 25.96 g, mientras que, si en la disposición de residuos hay reciclaje la
1620 contribución baja a 19.79 g de CO₂ eq/ Kw

1621

1622 **3.4.1 Discusión del modelo de impacto ambiental del Aerogenerador Vestas**
1623 **V27/225**

1624 En 2018 México ya contaba una capacidad instalada de 4,935 MW distribuidos en 54
1625 parques eólicos y 2, 447 aerogeneradores de diversas especificaciones (AMDEE, 2018).
1626 Sin embargo, a la fecha existe una escasez de información (en México) en la literatura
1627 sobre los impactos ambientales ocasionados a partir de la producción de energía eléctrica
1628 por medio de la industria eólica. Este trabajo es el primer intento de estimar los impactos
1629 ambientales potenciales del primer campo de aerogeneradores instalado en México, con
1630 el enfoque de la cuna a la tumba utilizando un análisis de ciclo de vida (ACV). A
1631 continuación, se presenta una discusión que se enfoca principalmente en los resultados
1632 obtenidos por las dos etapas que corresponden al territorio nacional: uso y mantenimiento
1633 y la etapa correspondiente a los escenarios de disposición final de los aerogeneradores.

1634 3.4.1.1 Etapa de uso y mantenimiento

1635 La generación de energía eólica es una tecnología con las más altas tasas de crecimiento,
1636 incluso en México. Mientras que la vida promedio de un aerogenerador se estima en 20
1637 años, esto implica que se tiene un *energy payback time* (EPBT) bastante bajo, comparado
1638 con otras formas de producción de energía. El EPBT se define como el periodo requerido
1639 por un sistema de energía renovable para generar la misma cantidad de energía (en
1640 términos de energía primaria equivalente) que fue usada para producir (y gestionar el fin
1641 de vida) el sistema en si (Fthenakis and Raugei, 2017). Considerando los resultados
1642 descritos de la cantidad de energía eléctrica generada (sección 3.2.6.2), el EPBT del
1643 aerogenerador estudiado fue de 8.5 meses, como se muestra en la Tabla 3.25.

1644

Tabla 3.25 Energy payback time de campos de aerogeneradores

Sitio	Energy payback time (Meses)	Referencia
La Venta I	8.5	Este trabajo
Dernah, Libia	5.7	Al-Behadili & El-Osta, 2015
Viena, Austria	7.2	Guezuraga, Zauner, & Pölz, 2011

1645

1646 Los indicadores relevantes (>70% de contribución) de medición de impacto ambiental
1647 para el caso estudiado (sección 3.3.2.) fueron radiación ionizante, ocupación de tierras
1648 agrícolas, ocupación de suelo urbano y agotamiento del agua. Sin embargo, cambio
1649 climático (66% de contribución) es importante por el contexto de la generación de
1650 energía. La Tabla 3.26 muestra un comparativo de los resultados obtenidos en esta
1651 investigación con otros reportes de ACV para aerogeneradores en la categoría de cambio
1652 climático (g CO₂e/kWh). La generación de energía eólica a nivel mundial se distingue
1653 por ser una con los menores impactos en la categoría recién mencionada, con valores de
1654 5-10 g CO₂ e/kWh, mientras que La venta I tuvo un impacto de 26 g CO₂ e/kWh. La
1655 variación de los valores puede deberse a distintos factores tales como:

- 1656 • El enfoque aplicado de ACV
- 1657 • El tamaño de los aerogeneradores
- 1658 • La eficiencia de los aerogeneradores
- 1659 • La vida útil de los aerogeneradores
- 1660 • Los datos de los procesos para las etapas del ACV varían de acuerdo al país

1661

1662
1663

Tabla 3.26 Comparación del impacto potencial al cambio climático por diferentes aerogeneradores

Lugar de estudio	Enfoque de ACV	Unidad funcional	g CO ₂ e/kWh (sin reciclaje)	g CO ₂ e/kWh (con reciclaje)	Contribución de impacto ambiental por etapa	Referencia
Dernah, Libia	De la cuna a la tumba	1 campo con 37 aerogeneradores, 1.65 MW c/u	10	4.65		[1]
China	De la cuna a la tumba	1 campo con aerogeneradores de 1.65 MW c/u		8.21		[2]
		1 campo con aerogeneradores de 3 MW c/u (offshore)		5.98		
México	De puerta a puerta	1 campo con aerogeneradores de 3 MW c/u		4.97		[3]
		2 aerogeneradores, 2 MW c/u			Manufactura 52% Instalación 1% Disposición final 47%	
Viena, Austria	De puerta a puerta	1 aerogenerador de 2 MW (con transmisión)		9.73		[4]
		1 aerogenerador de 1.8 MW (sin transmisión)		8.82		
Oaxaca, México	De la cuna a la tumba	1 aerogenerador de 225 kW	25.96	19.79	Obtención de materia prima 44.3% Manufactura 51% Instalación, uso y mantenimiento 3.25%	[5]

1664 [1] Al-Behadili & El-Osta, 2015

1665 [2] Wang & Sun, 2011

1666 [3] Vargas et al., 2014

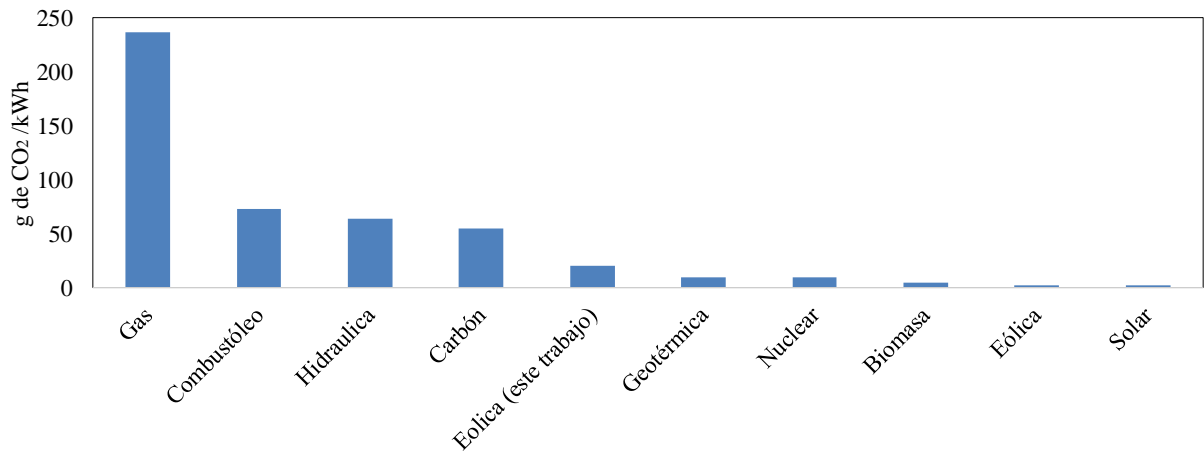
1667 [4] Guezuraga, Zauner, & Pölz, 2011

1668 [5] Este trabajo

1669

1670 De manera adicional, es importante señalar el contexto de la energía eólica frente a otros
1671 tipos de generación de energía eléctrica, la Figura 3.41 compara la cantidad de CO₂ eq de
1672 otras fuentes de energía.

1673



1674

1675

Figura 3.41 Emisiones de CO₂ en el sector eléctrico (2010)

1676

1677 **Capítulo 4 PROYECCIONES DE**
 1678 **DESMANTELAMIENTO DE AEROGENERADORES**
 1679 **E IMPACTO AMBIENTAL EN MÉXICO**

1680 Como ya se mencionó con anterioridad, el proyecto La Venta I fue el primer proyecto
 1681 instalado en México en el año de 1994 con 7 aerogeneradores daneses Vestas V27/225.
 1682 Siendo el Istmo una de las zonas con mayor potencial eólico, para el año 2017 habían sido

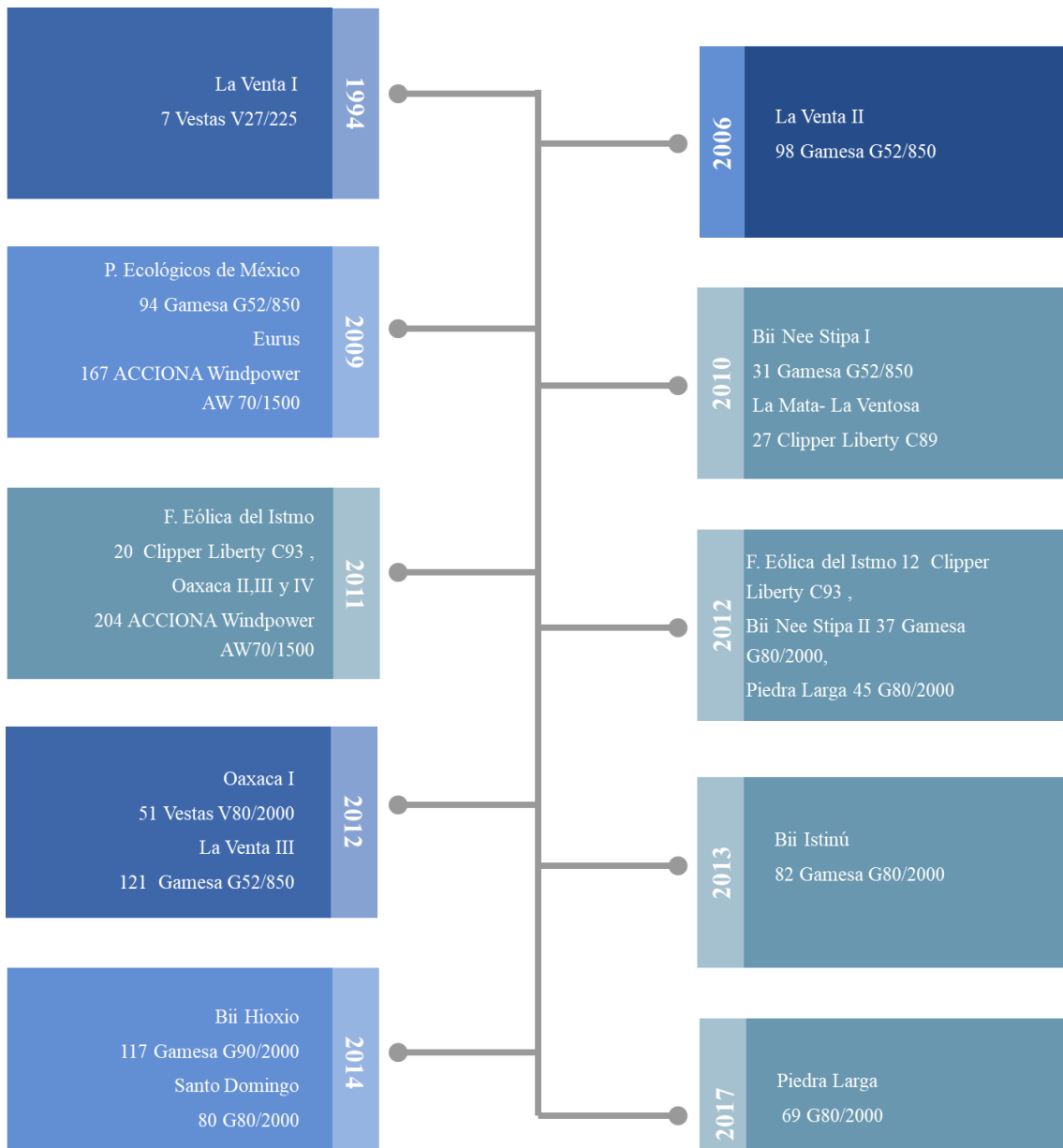
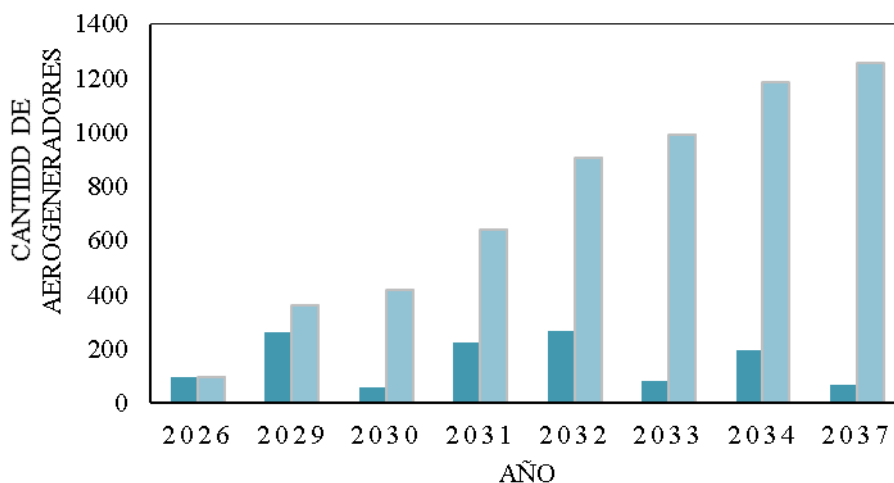


Figura 4.1 Proyectos eólicos instalados en México hasta 2017

1683 instalados 424 aerogeneradores, de diversas marcas y potencias nominales (**¡Error! No se**
1684 **encuentra el origen de la referencia.**).

1685 Es importante considerar que los parques eólicos instalados culminarán su ciclo de vida
1686 después de 20 años de uso (aproximadamente). En la Figura 4.2 se estima el año y la cantidad
1687 de aerogeneradores que serán sometidos a un proceso de desmantelamiento luego de concluir
1688 operaciones. Se estima que para el periodo 2026- 2037 se habrán desmantelado 1255
1689 aerogeneradores de diversas especificaciones en México.

1690



1691

1692 Figura 4.2 Desmantelamiento de aerogeneradores en México en el periodo 2026-2037

1693

1694 **4.1. PROYECTOS EÓLICOS PARA DESMANTELAMIENTO EN EL AÑO** 1695 **2030**

1696 Para el año 2030 se espera el desmantelamiento de 417 aerogeneradores de diversas
1697 especificaciones y parques eólicos en México. Al concluir con su ciclo de vida dichos
1698 aerogeneradores causarán un impacto ambiental derivado de las distintas etapas llevadas a
1699 cabo en México (Uso y mantenimiento y escenario de residuos). En la Tabla 4.1 se muestra
1700 la estimación de los principales impactos ambientales de acuerdo a su contribución crítica y
1701 relevante. En la Figura 4.3 se muestra la etapa del ACV responsable de las principales
1702 contribuciones de CO₂ eq en la categoría de cambio climático, así como el origen de dichas
1703 contribuciones.

1704

1705

1706

1707 Tabla 4.1 Estimación de los principales impactos ambientales por contribución crítica y relevante

Lugar de impacto	Etapas del ACV	Categoría de impacto crítica (> 50% de contribución)	Contribución %	Categoría de impacto relevante (> 70% de contribución)	Contribución %
México	Uso y mantenimiento			Cambio climático	93.6
				Agotamiento del ozono	98.4
				Acidificación terrestre	99.1
				Eutrofización de agua dulce	99.7
				Eutrofización marina	98.4
				Toxicidad humana	98.8
				Formación de oxidantes fotoquímicos	98.9
				Formación de materia particulada	99.5
				Ecotoxicidad terrestre	94.8
				Ecotoxicidad de agua dulce	71.2
				Ecotoxicidad marina	94.7
				Radiación ionizante	99.0
				Ocupación de tierras agrícolas	99.5
				Ocupación del suelo urbano	99.8
		Transformación natural de la tierra	99.9		

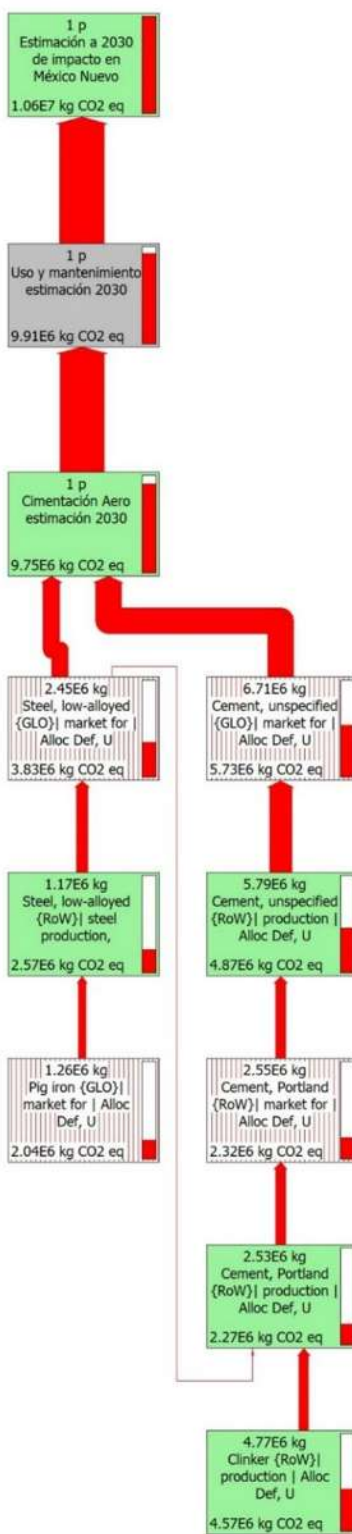
				Agotamiento del agua	99.6
				Agotamiento de metales	99.9
				Agotamiento de fósiles	99.1
Escenario de residuos	Reciclaje	—	—	—	—
	Incineración	—	—	—	—
	Relleno sanitario	—	—	—	—

1708

1709

1710

1711



1712

1713

Figura 4.3 Principales contribuciones de CO₂ eq en la categoría de cambio climático

1714 **Capítulo 5 VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS Y**
1715 **OBJETIVOS**

1716 **5.1. HIPÓTESIS**

1717 Se cree que la energía eólica es una de las formas de energía más limpia durante la fase de
1718 operación, sin embargo, los principales impactos ambientales generados tienen su origen en
1719 las fases de obtención de la materia prima, manufactura y disposición final, siendo esta última
1720 la de mayor impacto para México, ya que los aerogeneradores instalados en La Venta I son
1721 de origen danés.

1722 Sin embargo, los resultados obtenidos demuestran que los principales impactos ambientales
1723 generados tienen su origen en la fase de manufactura. Motivo por el cual **la hipótesis no es**
1724 **válida**, al menos para este campo de aerogeneradores en México.

1725

1726 **5.2. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS**

1727 **Objetivo general**

1728 Determinar el impacto ambiental ocasionado por el campo de aerogeneradores La venta I
1729 en Oaxaca mediante la aplicación del ACV (Análisis de Ciclo de Vida).

1730 ✓ Objetivo cumplido

1731

1732 **Objetivos específicos**

- 1733 • Determinar el inventario total de los componentes de cada aerogenerador.

1734 Se levantó el inventario de los componentes del aerogenerador mediante el acceso a
1735 literatura, en este caso haciendo uso de manuales de operación y mantenimiento del
1736 aerogenerador Vestas V27/225. Así como trabajo de campo que permitió el entendimiento
1737 de dichos manuales. Los datos completos se encuentran en la sección 3.2.3 - 3.2.7.

1738 ✓ Objetivo cumplido

1739

- 1740 • Determinar los límites, las entradas y las salidas del sistema para la aplicación del
1741 ACV.

1742 Una vez obtenido el inventario de los componentes del aerogenerador se determinaron las
1743 entradas y salidas que fueran iguales o similares en el software SimaPro para poder realizar

1744 el sistema lo más similar posible a lo real. Los datos completos se encuentran en la sección
1745 3.2.2 - 3.2.7.

1746 ✓ Objetivo cumplido
1747

1748 • Cuantificar el impacto ambiental mediante la energía total utilizada y la cantidad
1749 producida de CO₂ equivalente.

1750 Se estimó que los aerogeneradores tienen una contribución a la categoría de cambio
1751 climático de 25.96 g de CO₂ eq /kWh sin proceso de reciclaje y 19.79 g de CO₂ eq/kWh
1752 reciclando los residuos.

1753 ✓ Objetivo cumplido
1754

1755

1756

1757

1758

1759

1760 **Capítulo 6 CONCLUSIONES Y LIMITACIONES**

1761 **6.1. CONCLUSIONES**

1762 El presente trabajo es la primera evaluación del ciclo de vida del primer campo de
1763 aerogeneradores instalado en México. Muestra la etapa del ACV con mayor contribución, los
1764 principales materiales que conforman el aerogenerador Vestas V27/225 y aquellos necesarios
1765 para mantener su correcto funcionamiento, así como su disposición al concluir su ciclo de
1766 vida.

- 1767 • La energía eólica a pesar de generar energía eléctrica a partir de fuentes renovables
1768 genera un impacto ambiental.
- 1769 • No hay una gestión de aquellos residuos no aprovechables o reciclables y los rellenos
1770 sanitarios cercanos es probable que no contemplen la acumulación de estos a futuro.
- 1771 • Es importante el rediseño de elementos en el aerogenerador por aquellos conformados
1772 con otros materiales que causen un menor impacto ambiental o que puedan ser
1773 sustituidos para ampliar el tempo de vida establecido mediante una repotenciación.

1774

1775 **6.2. LIMITACIONES**

1776 El enfoque del ciclo de vida es una herramienta útil para estimar los impactos ambientales de
1777 las diferentes etapas de ciclo de vida de un aerogenerador. Sin embargo, para su aplicación
1778 se necesita de formación, entrenamiento específico y es de acceso limitado por la inversión
1779 económica para su obtención

1780 La presente investigación cuenta con las siguientes limitantes:

- 1781 • Los datos de las diferentes etapas del ciclo de vida varían en gran medida en cuanto
1782 a temporalidad ya que el ciclo de vida de los aerogeneradores es muy grande (20-25
1783 años). Por tal motivo los modelos de caracterización y bases de datos para modelar el
1784 escenario son escasos, lo que genera una aproximación al impacto ambiental, que
1785 además podría variar con respecto a la región.
- 1786 • El impacto ambiental estimado, no puede generalizarse a todos los sistemas de
1787 aerogeneradores debido a que las condiciones de operación, las dimensiones y la
1788 eficiencia de los aerogeneradores cambia en cada sistema.
- 1789 • La información es limitada ya algunos datos son de propiedad privada y los datos de
1790 carácter público se encuentran limitados por la fecha de su archivación.

1791

1792

BIBLIOGRAFÍA

1793

1794

1. ACCIONA (2020) ACCIONA [en línea].

1795

<https://www.accion.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/> 12/01/19

1796

2. ALACERO (2019) Asociación Lationamericana de Acero [en línea].

1797

<https://www.alacero.org/es/page/el-acero/que-es-el-acero> 5/01/19

1798

3. Al-Behadili, S.H. y El-Osta, W.B. (2015). Life cycle assessment of Dernah (Libya) wind farm.

1799

Renewable Energy, 83, 1227-1233. DOI: 10.1016/j.renene.2015.04.041

1800

4. AMC (2007). El agua en la atmósfera. Academia Mexicana de Ciencias. Informe. México, 9 pp.

1801

5. AMDEE (2018) Asociación Mexicana de Energía Eólica [en línea]. <https://www.amdee.org/el-viento-en-numeros>

1802

13/01/19

1803

6. AAHRUS HAVN (2019) Port of Aarhus [en línea] <https://www.aarhusavn.dk/en/>

1804

7. Asociación Danesa de la industria eólica. (2003). Aerogeneradores en la red eléctrica: Variaciones en

1805

la energía eólica [en línea].

[http://xn--](http://xn--drøstmstørrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/grid/index.htm)

1806

<http://xn--drøstmstørrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/grid/index.htm> 26/01/2019

1807

8. Asociación Danesa de la industria eólica. (2003). Palas del rotor [en línea].

1808

<http://drøstmstørrre.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wtrb/blades.htm>

1809

26/01/2019

1810

9. BM (2019). Banco Mundial [en línea]. <https://datos.bancomundial.org/indicador/en.atm.co2e.kt>

1811

11/01/19

1812

10. Caballero, M., Lozano, S. y Ortega, B. (2007). Efecto Invernadero, calentamiento global y cambio

1813

climático: una perspectiva desde las ciencias de la tierra. *Revista Digital Universitaria*, 8(10), 4-5.

1814

Recuperado de http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art78/oct_art78.pdf

1815

11. CEGESTI. (2001). Análisis del ciclo de vida, Centro de Gestión Tecnológica e Informática Industrial.

1816

Informe. Costa Rica, 5 pp.

1817

12. CEPAL (2010). La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios,

1818

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Documento de proyecto. Santiago de Chile,

1819

Chile, 46 pp. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3753/S2009834_es.pdf?sequence

1820

13. CIIFEN (2017). Adaptación y mitigación frente al Cambio Climático. Centro Internacional para la

1821

Investigación del Fenómeno de El Niño [en línea]

1822

http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=102&Itemid=341&lang=es

1823

27/01/2019

1824

14. COCHILCO (2016). Mercado internacional del hierro y el acero. Comisión Chilena del Cobre.

1825

Informe. Chile, 45 pp.

1826

15. Cortés, M. (2015). La importancia de la huella de carbono, ecológica e hídrica [en línea]. Recuperado

1827

de [https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/la-importancia-de-la-huella-de-carbono-](https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/la-importancia-de-la-huella-de-carbono-ecologica-e-hidrica/)

1828

[ecologica-e-hidrica/](https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/la-importancia-de-la-huella-de-carbono-ecologica-e-hidrica/) 26/01/2019

1829

16. De Juana, J., Santos, F., Crespo, A., Herrero, M., De Francisco, A., y Fernández, J. (2003). Energías

1830

renovables para el desarrollo. ITES-Paraninfo. Madrid, España, 309 pp.

1831

17. Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, 37(2), 231-232. Recuperado de

1832

<https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>

1833

18. Domínguez, F. (2002). La integración económica y territorial de las energías renovables y los sistemas

1834

de información geográfica. Tesis doctoral. Facultad de Geografía e Historia, Universidad Complutense

1835

de Madrid. Madrid, España, 471 pp.

- 1836 19. Espíndola, C. y Valderrama, J. (2011). Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación
1837 y complejidades metodológicas. *Información Tecnológica*, 23(1), 163-176. DOI: 10.4067/S0718-
1838 07642012000100017
- 1839 20. García, C. (2004). Impacto y riesgo ambiental de los residuos minero-metalúrgicos de la Sierra de
1840 Cartagena-La Unión (Murcia-España). Tesis doctoral. Departamento de Ingeniería Minera Geológica
1841 y Cartográfica, Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, España, 424 pp.
- 1842 21. Gineé J.B., Gorreé M., Gjalt R.H., de Koning A. (2004). Handbook on Life Cycle Assessment
1843 Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer Academic Publishers, New York, USA, 687 pp.
- 1844 22. Gillenwater, M. (2010). What is a global warming potential? And wích one do i use? [en línea].
1845 <https://ghginstitute.org/2010/06/28/what-is-a-global-warming-potential/> 26/01/2019
- 1846 23. Google Earth (2020). Google Earth [en línea]. [https://earth.google.com/web/@16.58025498,-](https://earth.google.com/web/@16.58025498,-94.81793854,34.28740146a,650.42624933d,35y,-0h,0t,0r)
1847 [94.81793854,34.28740146a,650.42624933d,35y,-0h,0t,0r](https://earth.google.com/web/@16.58025498,-94.81793854,34.28740146a,650.42624933d,35y,-0h,0t,0r)
- 1848 24. Google Maps (2020) Google Maps [en línea].
1849 [https://www.google.com.mx/maps/place/La+Venta,+Oax./@16.5056557,-](https://www.google.com.mx/maps/place/La+Venta,+Oax./@16.5056557,-94.9615035,10.67z/data=!4m5!3m4!1s0x85eab15603d1a2cf:0x27ac065415fa24dd!8m2!3d16.573856!4d-94.816134)
1850 [94.9615035,10.67z/data=!4m5!3m4!1s0x85eab15603d1a2cf:0x27ac065415fa24dd!8m2!3d16.57385](https://www.google.com.mx/maps/place/La+Venta,+Oax./@16.5056557,-94.9615035,10.67z/data=!4m5!3m4!1s0x85eab15603d1a2cf:0x27ac065415fa24dd!8m2!3d16.573856!4d-94.816134)
1851 [6!4d-94.816134](https://www.google.com.mx/maps/place/La+Venta,+Oax./@16.5056557,-94.9615035,10.67z/data=!4m5!3m4!1s0x85eab15603d1a2cf:0x27ac065415fa24dd!8m2!3d16.573856!4d-94.816134)
- 1852 25. Guezuraga, B., Zauner, R. y Pözl, W. (2011). Life cycle assessment of two different 2 MW class wind
1853 turbines. *Renewable Energy*, 37, 37-44. DOI: 10.1016/j.renene.2011.95.008
- 1854 26. ICONTEC (2007). Norma técnica colombiana NTC- ISO 14040. Instituto Colombiano de Normas
1855 Técnicas y Certificación. Nota técnica. Bogotá, Colombia, 33pp.
- 1856 27. IDEA (2013). Metodologías para la identificación y valoración de impactos ambientales. Instituto de
1857 Estudios Ambientales. Notas. Bogotá, Colombia, 37 – 42 pp.
- 1858 28. IDEAM (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto
1859 de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Nota técnica. Colombia, 99 pp.
- 1860 29. IHOBE (2009). Análisis de ciclo de vida y huella de carbono, dos maneras de medir el impacto
1861 ambiental de un producto. Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Nota técnica. Bilbao, España, 53
1862 pp.
- 1863 30. INECC (2018). Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero.
1864 Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Informe. México, 29 pp.
- 1865 31. INEEL (2003). El Análisis del Ciclo de Vida y la Gestión Ambiental Gestión Ambiental Gestión
1866 Ambiental. Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias. Boletín. México, 7 pp.
- 1867 32. IPCC (2014). Cambio climático 2014. Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. Informe
1868 de síntesis. Ginebra, Suiza, UK, 157 pp.
- 1869 33. ISO (2006). International Standards Organization [en línea].
1870 <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es> 17/07/19
- 1871 34. Jiménez, B. E. (2001). La contaminación ambiental en México. Limusa. D.F, México, D.F, 911 pp.
- 1872 35. Juárez, S. y León, G. (2014). Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición
1873 social. *Problemas del Desarrollo*, 178 (45), 139-162. Recuperado de
1874 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0301-70362014000300007&script=sci_abstract
- 1875 36. Larios, A. (2015). Desarrollo y prospectivas de energía renovable en México. *Economía informa*, 390,
1876 132-135. Recuperado de
1877 <http://herzog.economia.unam.mx/assets/pdfs/econinfo/390/09LariosVazquez.pdf>
- 1878 37. Ma San, J. (2013). Diseño de elementos de máquinas I. Piura, 158 pp.
- 1879 38. Markkilde Petersen, S. (1990). Wind turbine test Vestas V27-225 kW, 65 pp. (pag. 9, 10)
- 1880 39. Martínez, J. y Fernández, A. (2004). Cambio climático: una visión desde México. SEMARNAT,
1881 México D.F., México, 525 pp.

- 1882 40. Nelson, V. (2009) Wind energy. Renewable energy and the environment. Taylor and Francis group,
1883 298 pp.
- 1884 41. Norgate, T., Jahanshani, S., y Rankin, W. (2007). Assessing the environmental impact of metal
1885 production processes. Journal of Cleaner Production. 15,838-848. DOI:10.1016/j.jclepro.2006.06.018
- 1886 42. Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores
1887 ambientales. Gestión y política pública, 22(2), 283-312. Recuperado de
1888 <http://www.scielo.org.mx/pdf/gpp/v22n2/v22n2a1.pdf>
- 1889 43. Roldan, J. (2013). Energías renovables, lo que hay que saber. Paraninfo. España, 207 pp.
- 1890 44. Romero, F., Armienta, M., Gutiérrez, M., y Villaseñor, G. (2008). Factores geológicos y climáticos
1891 que determinan la peligrosidad y el impacto ambiental de jales mineros. Int. Contam. Ambient., 24(2),
1892 43-54. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v24n2/v24n2a1.pdf>
- 1893 45. Saynes, V., Etchevers, J., Paz, F., y Alvarado, L. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en
1894 sistemas agrícolas de México. Terra Latinoamericana, 34(1), 83-96. Recuperado de
1895 <https://www.redalyc.org/pdf/573/57344471006.pdf>
- 1896 46. Sánchez, O., Cardona, C., Sánchez, D. (2007). Análisis de ciclo de vida y su aplicación a la producción
1897 de bioetanol: una aproximación cualitativa. Universidad EAFIT 43(146), 59-79 Recuperado de
1898 [https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Sanchez25/publication/26496616_Analisis_de_ciclo_de_](https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Sanchez25/publication/26496616_Analisis_de_ciclo_de_vida_y_su_aplicacion_a_la_produccion_de_bioetanol_Una_aproximacion_cualitativa/links/551183c00cf270fd7e2fe5e9/Analisis-de-ciclo-de-vida-y-su-aplicacion-a-la-produccion-de-bioetanol-Una-aproximacion-cualitativa.pdf)
1899 [_vida_y_su_aplicacion_a_la_produccion_de_bioetanol_Una_aproximacion_cualitativa/links/551183](https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Sanchez25/publication/26496616_Analisis_de_ciclo_de_vida_y_su_aplicacion_a_la_produccion_de_bioetanol_Una_aproximacion_cualitativa/links/551183c00cf270fd7e2fe5e9/Analisis-de-ciclo-de-vida-y-su-aplicacion-a-la-produccion-de-bioetanol-Una-aproximacion-cualitativa.pdf)
1900 [c00cf270fd7e2fe5e9/Analisis-de-ciclo-de-vida-y-su-aplicacion-a-la-produccion-de-bioetanol-Una-](https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Sanchez25/publication/26496616_Analisis_de_ciclo_de_vida_y_su_aplicacion_a_la_produccion_de_bioetanol_Una_aproximacion_cualitativa/links/551183c00cf270fd7e2fe5e9/Analisis-de-ciclo-de-vida-y-su-aplicacion-a-la-produccion-de-bioetanol-Una-aproximacion-cualitativa.pdf)
1901 [aproximacion-cualitativa.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Oscar_Sanchez25/publication/26496616_Analisis_de_ciclo_de_vida_y_su_aplicacion_a_la_produccion_de_bioetanol_Una_aproximacion_cualitativa/links/551183c00cf270fd7e2fe5e9/Analisis-de-ciclo-de-vida-y-su-aplicacion-a-la-produccion-de-bioetanol-Una-aproximacion-cualitativa.pdf)
- 1902 47. SEARATES (2019). SEARATES [en línea]. <https://www.searates.com/es/services/distances-time/>
- 1903 48. SCT (2020). Secretaría de Comunicaciones y Transportes [en línea].
1904 <https://www.puertodeveracruz.com.mx/wordpress/quienes-somos/historia/>
- 1905 49. SE (2013). Perfil de mercado del hierro-acero. Secretaría de economía. Informe. México, 64 pp.
- 1906 50. SENER (2018). Reporte de avance de energías limpias primer semestre 2018. Secretaría de energía.
1907 Reporte. México, 21 pp.
- 1908 51. Secretaría General (2018). Ley general de cambio climático. Ley. México, 58 pp.
- 1909 52. SEGOB (2015). La energía eólica en México, una perspectiva social sobre el valor de la tierra.
1910 Secretaria de Gobernación. Informe. 46 pp.
- 1911 53. SEMARNAT (2010). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales [en línea].
1912 [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_R_ENERGIA01_01&IBIC](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_R_ENERGIA01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce)
1913 [_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_R_ENERGIA01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce) 16/01/19
- 1914 54. SEMARNAT (2009). Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. Secretaria de Medio Ambiente
1915 y Recursos Naturales. Informe. México, 84 pp.
- 1916 55. SEMARNAT (2013). Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales [en línea].
1917 <http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestion-ambiental/impacto-ambiental-y-tipos> 11/12/18
- 1918 56. TAXUS (2018). Anteproyecto de desmantelamiento y restauración e integración paisajística. Proyecto
1919 de Instalación del Parque Eólico Campón. Gestión Ambiental, Ecología y Calidad S.L. Anteproyecto.
1920 Asturias, España, 102 pp.
- 1921 57. UNESID (2013). Reciclaje del aceren la industria siderúrgica española. Unión de Empresa
1922 Siderúrgicas. Informe. España, Madrid, 39 pp.
- 1923 58. Universidad de Kalmar (2004) Replacement of Old Wind Turbines Assessed from Energy,
1924 Environmental and Economic Perspectives, Dept.de Tecnología de la Universidad de Kalmar. Reporte.
1925 Suiza, 33 pp. (pag. 8, 14)
- 1926 59. UMich (2016). Impacto en cambio climático por Fertilizantes Nitrogenados en México: Análisis de
1927 Ciclo de Vida. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ficha técnica de proyecto.
1928 Morelia, México, 28 pp.

- 1929 60. USGS (2018). Mineral commodity summaries 2018. U.S. Geological Survey. Reporte. EUA, 204 pp.
- 1930 61. V. Fthenakis, and M. Raugei (2017). The Performance of Photovoltaic (PV) Systems: Modelling,
- 1931 Measurement and Assessment. ISBN 978-1-78242-336-2, 366 pp, .DOI
- 1932 <https://doi.org/10.1016/C2014-0-02701-3>
- 1933 62. Vargas, A., Zenón, E., Oswald, U., Islas, J., Güereca, L., y Manzini, F. (2014). Life cycle assessment:
- 1934 A case study of two wind turbines used in Mexico. Applied Thermal Engineering, 75(2015), 1210-
- 1935 1216. Recuperado <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.10.056>
- 1936 63. Vestas (1994) General specification Vestas V27-225 kW, 50 Hz windturbine with tubular/ lattice
- 1937 tower. Reporte. 12 pp. (pag. 5- 11).
- 1938 64. Vestas (2011). Life Cycle Assessment of Electricity Production from a V90-2.0 MW Gridstreamer
- 1939 Wind Plant. Reporte. 105 pp. (pag 31).
- 1940 65. Vestas (1993). Electrical operating and maintenance manual. Vestas V27/225 wind turbine. Versión
- 1941 2.3.0. Manual. 525 pp.
- 1942 66. Vestas (2014). Annual report 2013, Vestas Wind Systems A/S. Reporte. Dinamarca, 118pp.
- 1943 67. Vestas (2019) Vestas [en línea]. <https://www.vestas.com/#!>
- 1944 68. Wang, Y. y Sun, T. (2011). Life cycle assessment of CO₂ emissions from wind power plants:
- 1945 Methodology and case studies. Renewable Energy 43(2012), 30-36.
- 1946 DOI:10.1016/j.renene.2011.12.017
- 1947 69. Worldsteel (2015). Steel in the circular economy. A life cycle perspective. World Steel Association.
- 1948 Informe. 30 pp.
- 1949 70. Worldsteel (2017). STEEL STATISTICAL YEARBOOK 2017. World Steel Association. Anuario.
- 1950 123 pp.
- 1951 71. Worldsteel (2019). World Steel Association [en línea]. [https://www.worldsteel.org/steel-by-](https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/monthly-crude-steel-and-iron-production.html)
- 1952 [topic/statistics/monthly-crude-steel-and-iron-production.html](https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/statistics/monthly-crude-steel-and-iron-production.html) 1/01/19
- 1953 72. Worldsteel (2019). World Steel Association [en línea]. [https://www.worldsteel.org/steel-by-](https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/sustainability/product-sustainability.html)
- 1954 [topic/sustainability/product-sustainability.html](https://www.worldsteel.org/steel-by-topic/sustainability/product-sustainability.html) 2/01/19
- 1955 73. World energy trade (2019). World energy trade [en línea].
- 1956 [https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-eolica/como-funcionan-los-](https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-eolica/como-funcionan-los-aerogeneradores)
- 1957 [aerogeneradores](https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-eolica/como-funcionan-los-aerogeneradores) 22/12/19
- 1958



"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Ciudad de México, 28 de octubre de 2019.
Ref. UT/SAIP/3103/19.

Asunto: Se responde solicitud de acceso a la información.

C. Solicitante:

Nos referimos a la solicitud de acceso a la información que usted ingresó a través de la Plataforma Nacional de Transparencia, identificada con el folio 1816400307219, por la cual requirió a la Comisión Federal de Electricidad, lo siguiente:

Modalidad preferente de entrega de información:
Cualquier otro medio incluido los electrónicos (correo electrónico)

"Proyecto ejecutivo de instalación de CFE de 1994 del campo de aerogeneradores Vestas V27/225 en La Venta I municipio Juchitán de Zaragoza, Oaxaca.

-Requiero conocer, para un aerogenerador Vestas V27/225 instalado en la Venta I, Oaxaca a cargo de CFE, la bitácora de mantenimiento, desde sus inicios de operación (1994) hasta la fecha actual (2019). Necesito cuantificar las piezas más comúnmente reemplazadas y la disposición final de la que son objeto reparación, reciclaje o desecho.

-En la estación CFE de La Venta I municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca ¿Cuál es el destino final de los materiales recuperados al ser desinstalado un aerogenerador tipo Vestas V27/225 que concluyó su vida útil ya sea por obsolescencia o algún siniestro?

-Al concluir la vida útil de los aerogeneradores en La Venta I municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca ¿Cómo es el proceso de desmantelamiento? ¿Qué tipo de maquinaria y herramienta fue necesaria para retirar los aerogeneradores tipo Vestas V27/225? ¿Cuánto tiempo duro dicho proceso?

-En la estación CFE de La Venta I municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca ¿Cuál fue la energía eléctrica total generada (kW) por aerogenerador tipo Vestas V27/225 desde sus inicios de operación (1994) hasta la fecha actual (2019)?

-¿Cuál es el costo del proceso de desmantelamiento de un aerogenerador tipo Vestas V27/225 al concluir su vida útil en La Venta I municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca?

El campo de aerogeneradores se instaló en la Venta I, municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca en Noviembre de 1994 en el cual se instalaron 7 aerogeneradores tipo Vestas V27/225, justificación de no pago: Actualmente soy estudiante y la información la necesito para concluir mi tema de tesis de maestría" (sic)

Al respecto, le informamos que esta Unidad de Transparencia, en cumplimiento a lo ordenado por el artículo 133 de la *Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública*, en concordancia con el vigésimo de los *Lineamientos que establecen los procedimientos internos de atención a solicitudes de acceso a la información pública*, turnó su solicitud de información a las áreas de este sujeto obligado que resultaron competentes para conocer de su requerimiento, de conformidad con lo establecido en el *Estatuto Orgánico de la Comisión Federal de Electricidad*.

Con fundamento en el Acuerdo aprobado por el Comité de Transparencia de la CFE, en su Trigésima Séptima Sesión Extraordinaria de fecha 1 de noviembre de 2016; en el sentido de que la Unidad de Enlace para la Información Pública (actualmente Unidad de Transparencia) y el Comité de Transparencia de la Comisión Federal de Electricidad, continúe dando cumplimiento a las obligaciones de Transparencia, Acceso a la Información Pública, Protección de Datos y Organización y Conservación de Archivos de las Empresas Productivas Subsidiarias, hasta en tanto se concluyan las acciones durante el proceso de transición y resulten operativas; se hace de su conocimiento que la **Empresa Productiva Subsidiaria Generación VI** informa lo siguiente:

Generación VI:

"En atención a la SAIP 19-3072 y de conformidad con lo notificado la Central Eólica La Venta, esta EPS CFE Generación VI brinda respuesta a cada cuestionamiento de la siguiente manera:

Av. Cuauhtémoc 536, PB, colonia Narvarte, código postal 03020, Benito Juárez, CDMX.
Teléfono 5229-4400 extensiones: 84008 y 84012.

Requiero conocer, para un aerogenerador Vestas V27/225 instalado en la Venta I, Oaxaca a cargo de CFE, la bitácora de mantenimiento, desde sus inicios de operación (1994) hasta la fecha actual (2019). Necesito cuantificar las piezas más comúnmente reemplazadas y la disposición final de la que son objeto reparación, reciclaje o desecho.

La EPS CFE Generación VI hace de su conocimiento que **debido al amplio volumen de la información (170 MB), previo pago de un disco compacto se hará entrega en archivo PDF de las órdenes de trabajo que conforman la bitácora de mantenimiento** la C.E. La Venta I del 2002 a la fecha.

En lo referente al periodo de 1994 a 2002, se precisa que la obligación normativa de guarda y custodia de los Archivos inició en el 2002, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 32 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental y la Ley Federal de Archivos publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 23 de enero de 2012, toda vez que la guarda y custodia de la documentación no era obligada, ni su conservación en aquél momento, por lo que anterior a esa fecha no se cuenta con la información requerida.

Asimismo, se proporciona a continuación listado de piezas que comúnmente son reemplazadas:

- Tarjetas electrónicas de control (dos por año)
- Contactores eléctrico (tres por año)
- Interruptores termomagnéticos (dos por año)
- Relevadores eléctricos (cinco x año)
- Tarjeta electrónica Vickers (dos por año)
- Anemos y veletas (3 por año)
- Procesador (uno cada dos años)
- Motores eléctricos del sistema del grupo Hidráulico
- Filtros de aire del sistema de ventilación (6 por año)
- Una caja multiplicadora
- Daño en dientes del sistema de orientación del aerogenerador (tres)

-En la estación CFE de La Venta I municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca ¿Cuál es el destino final de los materiales recuperados al ser desinstalado un aerogenerador tipo Vestas V27/225 que concluyó su vida útil ya sea por obsolescencia o algún siniestro?

Actualmente se tienen 3 aerogeneradores en operación, los otros 4 fueron dados de baja por daños a causa de siniestros, cabe aclarar que ninguno se ha dado de baja por obsolescencia; estos fueron indemnizados por la aseguradora pasando a ser propiedad de la particular.

-Al concluir la vida útil de los aerogeneradores en La Venta I municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca ¿Cómo es el proceso de desmantelamiento? ¿Qué tipo de maquinaria y herramienta fue necesaria para retirar los aerogeneradores tipo Vestas V27/225? ¿Cuánto tiempo duro dicho proceso?

Se requirieron grúas con plumas telescópicas con longitud para alcanzar la altura de la góndola (50.00 mts) y tener una capacidad para izar 20 toneladas como mínimo, grúa hiab, camión con plataforma para el traslado de los componentes, eslingas, estrobos, grilletes, cadenas, herramienta manual, hidráulicas y especializadas para el desarme del aerogenerador; este proceso tuvo una duración de tres días; cabe hacer mención que en la central ninguno ha sido desmantelado por obsolescencia.

-En la estación CFE de La Venta I municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca ¿Cuál fue la energía eléctrica total generada (kW) por aerogenerador tipo Vestas V27/225 desde sus inicios de operación (1994) hasta la fecha actual (2019)?

1962

La generación bruta ha sido de 97,344.72 GW/hr

-¿Cuál es el costo del proceso de desmantelamiento de un aerogenerador tipo Vestas V27/225 al concluir su vida útil en La Venta I municipio de Juchitán de Zaragoza, Oaxaca?

El costo del desmantelamiento de los aerogeneradores por siniestro es de \$1, 100,000.00 aproximadamente.

A la fecha en la central ninguno ha sido dado de baja por obsolescencia.”

Si usted desea realizar el pago antes referido, o bien pagar copia simple. Le solicitamos comunicarse vía telefónica o por correo electrónico a la Unidad de Transparencia de Comisión Federal de Electricidad, para poder generar el recibo correspondiente y una vez realizado el pago se entregará la información.

La opción de entrega puede ser con o sin envío. Para recoger la información directamente en la Unidad la opción será sin envío. Si requiere que se le envíe a la dirección que proporcionó en su solicitud será con envío y costo adicional.

Así mismo de manera adicional, se ponen a su disposición las siguientes modalidades gratuitas: lo puede hacer acudiendo a las oficinas de la Unidad de Transparencia con una memoria USB o disco duro con capacidad suficiente para almacenar los archivos de la información, también se puede habilitar una liga electrónica por 30 días a partir de la fecha en que sea cargada.

Favor de comunicarse para que nos indique el medio por el cual desea recibir la información.

Unidad de Transparencia:
Teléfono (01 55) 52 29 44 00 ext. 84008, 84012
01 800 624 97 39 (larga distancia gratuita)
Correo electrónico: informacion publica@cfe.gob.mx

Adicionalmente se le hace saber que, el Comité de Transparencia de la Comisión Federal de Electricidad tomó conocimiento de la respuesta en su Trigésima Novena Sesión Ordinaria, celebrada el 22 de octubre de 2019. El acta en la que consta la resolución adoptada por el mencionado órgano colegiado, podrá ser consultada por usted accediendo al siguiente vínculo electrónico:

<https://www.cfe.mx/Transparencia/Paginas/Transparencia-focalizada.aspx>

Con todo lo expuesto, se cumple con la obligación de acceso a la información en términos de lo establecido en el artículo 135 de Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública. No se omite mencionar que, en virtud de que usted presentó su solicitud por la Plataforma Nacional de Transparencia, en términos del artículo 126 de la mencionada ley, la notificación de la presente respuesta surte sus efectos por esa misma vía.

En caso de inconformidad con la presente respuesta, usted podrá interponer, de manera directa por escrito, por correo con porte pagado o por medios electrónicos, un recurso de revisión ante el Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI) o ante la Unidad de Transparencia de esta empresa productiva del Estado, dentro de los quince días siguientes a la fecha de notificación de la respuesta, tal y como lo señala el artículo 147 de la *Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública*.

Finalmente se le informa que, la mencionada *Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública*, en su numeral 148, prevé las causales de procedencia del citado recurso de revisión.

Reciba un cordial saludo.

**Unidad de Transparencia de la
Comisión Federal de Electricidad**



Ciudad de México, 26 de febrero de 2020.
Ref. UT/SAIP/0576/20.

Asunto: Se responde solicitud de acceso a la información.

C. Solicitante:

Nos referimos a la solicitud de acceso a la información que usted ingresó a través de la Plataforma Nacional de Transparencia, identificada con el folio 1816400033820, por la cual requirió a la Comisión Federal de Electricidad, lo siguiente:

Modalidad preferente de entrega de información:

Entrega por Internet en la PNT(Plataforma Nacional de Transparencia)

"- ¿Cuáles son las fechas de fin de operaciones de cada aerogenerador que ha concluido su ciclo de vida en el campo de aerogeneradores de La Venta I, en Juchitán de Zaragoza Oaxaca?

-¿Cuál es el nombre de la empresa aseguradora que se quedo con los aerogeneradores que concluyeron su ciclo de vida por siniestro en La Venta I, en Juchitán de Zaragoza Oaxaca?

-¿Que cantidad de arena, grava, varilla, alambre cemento y agua se usó en la cimentación de cada aerogenerador en La Venta I, en Juchitán de Zaragoza Oaxaca?

-¿Cuáles son las dimensiones y que tipo de cimentación se usó en cada aerogenerador en La Venta I, en Juchitán de Zaragoza Oaxaca?

El campo de aerogeneradores La Venta I se instaló en Juchitán de Zaragoza, Oaxaca en el año de 1994 con 7 aerogeneradores Vestas V27/225, justificación de no pago: Necesito dicha información para concluir mi tema de tesis y actualmente dependo de la beca para continuar con mis estudios" (sic)

Al respecto, le informamos que esta Unidad de Transparencia, en cumplimiento a lo ordenado por el artículo 133 de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública, en concordancia con el vigésimo de los Lineamientos que establecen los procedimientos internos de atención a solicitudes de acceso a la información pública, turnó su solicitud de información a las áreas de este sujeto obligado que resultaron competentes para conocer de su requerimiento, de conformidad con lo establecido en el Estatuto Orgánico de la Comisión Federal de Electricidad.

Con motivo de lo anterior, las **Direcciones Corporativas** de esta Comisión Federal de Electricidad, responden a su solicitud, manifestando lo siguiente:

Dirección Corporativa de Ingeniería y Proyectos de Infraestructura:

En atención a su solicitud la Dirección Corporativa de Ingeniería y Proyectos de Infraestructura comunica a través de la Subdirección de Ingeniería y Administración de la Construcción que no participó en el desarrollo del proyecto citado. Por lo anterior no se tiene información que reportar

Se sugiere solicitar información al área de Operación.

Dirección Corporativa de Operaciones:

En atención a su solicitud a esta Dirección Corporativa de Operaciones, de acuerdo con lo manifestado a la consulta realizada a la Subdirección de Negocios No Regulados, informan que no cuentan con esa información. **Se sugiere enviar esta solicitud a la EPS VI.**

Con fundamento en el Acuerdo aprobado por el Comité de Transparencia de la CFE, en su Trigésima Séptima Sesión Extraordinaria de fecha 1 de noviembre de 2016; en el sentido de que la Unidad de Enlace para la Información Pública (actualmente Unidad de Transparencia) y el Comité de Transparencia de la Comisión Federal de Electricidad, continúe dando cumplimiento a las obligaciones de Transparencia, Acceso a la Información Pública, Protección de Datos y Organización y Conservación de Archivos de las Empresas Productivas Subsidiarias, hasta en tanto se concluyan las acciones durante el proceso de transición y resulten operativas; se hace de su conocimiento que la **Empresa Productiva Subsidiaria Generación VI** informa lo siguiente:

“En atención a la SAIP 20-0338 y de conformidad con lo notificado por la Oficina de Capacitación y Seguridad de la Subgerencia de Producción Termoeléctrica Peninsular, a continuación, se le da respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las fechas de fin de operaciones de cada aerogenerador que ha concluido su ciclo de vida en el campo de aerogeneradores de La Venta I, en Juchitán de Zaragoza Oaxaca?

Las fechas de última operación se muestran en la siguiente tabla:

No	Aerogenerador	Fecha última de Operación
1	Aerogenerador V-06	06 de diciembre de 2006
2	Aerogenerador V-01	05 de octubre de 2012
3	Aerogenerador V-07	29 de diciembre de 2012
4	Aerogenerador V-05	05 de agosto de 2018

-¿Cuál es el nombre de la empresa aseguradora que se quedo con los aerogeneradores que concluyeron su ciclo de vida por siniestro en La Venta I, en Juchitán de Zaragoza Oaxaca?

El nombre de la aseguradora es AXA Seguros S.A. de C.V.

-¿Que cantidad de arena, grava, varilla, alambre cemento y agua se usó en la cimentación de cada aerogenerador en La Venta I, en Juchitán de Zaragoza Oaxaca?

El total de material utilizado fue el siguiente:

Arena	57.61	M3
Grava	70.22	M3
Cemento	49,156.74	KG
Agua	22.51	M3
Acero refuerzo	17,952.67	KG

-¿Cuáles son las dimensiones y que tipo de cimentación se usó en cada aerogenerador en La Venta I, en Juchitán de Zaragoza Oaxaca?

La cimentación diseñada, apoya sobre una capa de concreto de limpieza colocado sobre la superficie de excavación que se establece en la cota -2,10 metros. Se adoptará como cota +0,00 la cota del terreno en el área existente donde se ubicará la cimentación.

La cimentación está constituida por una zapata de concreto armado cuadrada y un pedestal cilíndrico concéntrico con la torre, donde las dimensiones, geometría, características y el diseño en general.

La conexión eléctrica entre el interior de la torre y la canalización se establece a través de los correspondientes ductos directamente enterrados en arena que pasan por debajo de la sección de anclaje de la torre.

La virola de cimentación es el tramo de la torre metálica del aerogenerador que va embebida en la cimentación y pedestal, siendo su altura de 2.10 metros. En su ubicación final sobresale del pedestal, quedando su parte más alta a cota +0,375 m.

El pedestal está conectado con la zapata mediante armaduras verticales. La cimentación se completa con un relleno producto de la excavación, hasta en N.T.N. Cota 0,00, es decir, 0,9 metros por encima de la cota de concreto de la zapata.

Materiales:

Concreto de limpieza de $f_c = 200\text{kg/cm}^2$

Concreto armado de $f_c = 300\text{kg/cm}^2$

Acero en armaduras

ASTM A-615 grado 60"

Adicionalmente se le hace saber que, el Comité de Transparencia de la Comisión Federal de Electricidad tomó conocimiento de la respuesta en su Octava Sesión Ordinaria, celebrada el 25 de febrero de 2020. El acta en la que consta la resolución adoptada por el mencionado órgano colegiado, podrá ser consultada por usted accediendo al siguiente vínculo electrónico:

<https://www.cfe.mx/Transparencia/Paginas/Transparencia-focalizada.aspx>

Con todo lo expuesto, se cumple con la obligación de acceso a la información en términos de lo establecido en el artículo 135 de Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública. No se omite mencionar que, en virtud de que usted presentó su solicitud por la Plataforma Nacional de Transparencia, en términos del artículo 126 de la mencionada ley, la notificación de la presente respuesta surte sus efectos por esa misma vía.

En caso de inconformidad con la presente respuesta, usted podrá interponer, de manera directa por escrito, por correo con porte pagado o por medios electrónicos, un recurso de revisión ante el Instituto Nacional de Transparencia, Acceso a la Información y Protección de Datos Personales (INAI) o ante la Unidad de Transparencia de esta empresa productiva del Estado, dentro de los quince días siguientes a la fecha de notificación de la respuesta, tal y como lo señala el artículo 147 de la *Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública*.

Finalmente se le informa que, la mencionada *Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública*, en su numeral 148, prevé las causales de procedencia del citado recurso de revisión.

Reciba un cordial saludo.

**Unidad de Transparencia de la
Comisión Federal de Electricidad**

1967

1968

1969

ANEXO III

Categoría de impacto	Obtención de materia prima	Manufactura	Transporte Dinamarca-México-Juchitán	Uso y mantenimiento	Transporte para reciclar Juchitán - Puebla	Transporte R.S. Juchitán- El espinal	Reciclaje	Incineración	Relleno sanitario
Cambio climático	25.28%	65.86%	1.78%	6.00%	0.75%	0.01%	-23.75%	0.28%	0.05%
Agotamiento del ozono	34.29%	57.55%	3.33%	3.43%	1.38%	0.01%	-9.20%	0.00%	0.01%
Acidificación terrestre	35.28%	55.10%	5.56%	3.47%	0.57%	0.00%	-18.23%	0.00%	0.01%
Eutrofización de agua dulce	45.07%	52.61%	0.01%	2.30%	0.00%	0.00%	-2.99%	0.00%	0.00%
Eutrofización marina	32.57%	57.94%	5.05%	3.46%	0.95%	0.01%	-12.34%	0.00%	0.02%
Toxicidad humana	47.46%	49.10%	0.43%	2.55%	0.46%	0.00%	-4.18%	0.00%	0.01%
Formación de oxidantes fotoquímicos	35.02%	52.24%	6.51%	5.03%	1.18%	0.01%	-26.61%	0.00%	0.01%
Formación de materia particulada	40.32%	51.01%	3.33%	4.82%	0.52%	0.00%	-31.75%	0.00%	0.01%
Ecotoxicidad terrestre	34.56%	58.65%	2.00%	2.50%	2.23%	0.02%	-3.25%	0.00%	0.04%
Ecotoxicidad de agua dulce	39.99%	51.22%	1.93%	4.87%	1.07%	0.01%	-10.44%	0.13%	0.77%
Ecotoxicidad marina	46.44%	48.98%	1.79%	1.78%	0.96%	0.01%	-2.71%	0.02%	0.03%
Radiación ionizante	9.97%	85.64%	1.53%	2.21%	0.64%	0.00%	-2.79%	0.00%	0.00%
Ocupación de tierras agrícolas	3.61%	96.10%	0.01%	0.28%	0.01%	0.00%	-0.28%	0.00%	0.00%
Ocupación del suelo urbano	23.20%	74.16%	0.02%	2.60%	0.01%	0.00%	-14.82%	0.00%	0.00%
Transformación natural de la tierra	32.63%	64.11%	0.03%	3.23%	0.01%	0.00%	-22.01%	0.00%	0.00%
Agotamiento del agua	17.69%	79.77%	0.09%	2.40%	0.04%	0.00%	-1.82%	0.00%	0.00%
Agotamiento de metales	47.42%	47.62%	0.00%	4.96%	0.00%	0.00%	-15.54%	0.00%	0.00%
Agotamiento de fósiles	25.42%	66.70%	2.50%	4.31%	1.04%	0.01%	-19.61%	0.00%	0.01%