



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
ENERGÍA – PROCESOS Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA

ANÁLISIS DE LA SUSTENTABILIDAD DE LA EOLOELECTRICIDAD EN MÉXICO,  
CONSIDERANDO SU CICLO DE VIDA

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTORA EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
M. I. AÍDA VIRIDIANA VARGAS ZAVALA

TUTOR PRINCIPAL  
DR. FABIO LUIGI MANZINI POLI, INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
COMITÉ TUTOR  
DR. ANGEL DE LA VEGA NAVARRO, FACULTAD DE ECONOMÍA  
DR. JORGE MARCIAL ISLAS SAMPERIO, INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
DRA. ÚRSULA OSWALD SPRING, CENTRO REGIONAL DE INVESTIGACIONES  
MULTIDISCIPLINARIAS  
DRA. LEONOR PATRICIA GÜERECÁ HERNÁNDEZ, INSTITUTO DE INGENIERÍA

MÉXICO, D. F. JUNIO 2015.



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Islas Samperio Jorge Marcial  
Secretario: Oswald Spring Úrsula  
Vocal: Manzini Poli Fabio Luigi  
1<sup>er</sup>. Suplente: De la Vega Navarro José Ángel Félix  
2<sup>do</sup>. Suplente: Güereca Hernández Leonor Patricia

Lugar donde se realizó la tesis: INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES – U. N. A. M.

**TUTOR DE TESIS:**

FABIO LUIGI MANZINI POLI

-----  
**FIRMA**

## *Agradecimientos*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme, una vez más la oportunidad de adquirir una formación profesional bajo la dirección de destacados investigadores y maestros que continúan contribuyendo a que sea de las mejores Universidades del MUNDO. ¡Gracias!*

*Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado mediante la beca CVU No. 162975 que financió la realización del presente trabajo de tesis.*

*Al Programa Nacional de Promoción de Sistemas Fotovoltaicos en México, ONUDI, por haber financiado una parte importante de esta investigación.*

*A la L.I. Ma. de Jesús Pérez Orozco, por su apoyo en la búsqueda de referencias bibliográficas, y por el soporte técnico en el uso del software SimaPro en un Servidor Windows a través del escritorio remoto, en todo momento en que fue requerido.*

*Al comité tutorial con el que tuve el honor de trabajar le agradezco infinitamente su guía, su paciencia e invaluable consejos, siempre encaminados a mejorar esta investigación.*

*A la Dra. Úrsula Oswald Spring por sus sabios consejos, así como por el tiempo que me permitió convivir con usted, por haber fomentado la confianza en mí misma y por dejarme ver que los límites están en donde nosotros los colocamos. ¡Mil gracias!*

*A la Dra. Leonor Patricia Güereca Hernández agradezco infinitamente la orientación en la búsqueda de soluciones para esta investigación y por guiarme a través de su muy extenso (y muy interesante) campo de estudio.*

*Al Dr. José Ángel Félix de la Vega Navarro por compartir sus conocimientos, por su apoyo y orientación para lograr darle forma a este trabajo; gracias especialmente por enseñarme a pensar más allá de lo que las cifras permiten ver y tener un panorama más amplio de las posibles causas de los sucesos.*


*Al Dr. Jorge Marcial Islas Samperio, por sus certeras opiniones y valiosos consejos en la estructuración de esta investigación. Gracias por fomentar mi confianza y seguridad pues me ayudó a superar muchos de los retos inmersos en este documento.*

*Al Dr. Eric Zenón Olvera, por su orientación, paciencia, colaboración y apoyo en el desarrollo de este trabajo con el único compromiso de llevar a buen término este documento. ¡Mil gracias!*

*Al Dr. Fabio Luigi Manzini Poli por brindarme la oportunidad de trabajar bajo su dirección, por ayudarme a ordenar mis muy dispersas ideas en este proyecto y orientarme en la búsqueda de soluciones en aquellas tareas complicadas. Gracias también por permitirme darme cuenta que soy capaz de pararme frente un grupo e impartir una clase.*

*¡A todos, mil gracias!*

*A quienes me han acompañado durante este camino.*

*A quién ha partido* 

*A Maya.*

*A los amigos de 'toda una vida': Cris, Su, Ana, Raúl, Jimmys, Emmanuéf, Gonzalo ...*

*A quienes han llegado.*

---

---

## Presentación

A continuación se muestran los resultados obtenidos del Análisis del Ciclo de Vida de la generación de electricidad mediante energía eólica en México en el paradigma de la sustentabilidad. En primer término se presentan los principales hechos que han motivado y justifican este estudio así como los resultados esperados.

En el capítulo dos se detalla un panorama general referente al uso de las energías renovables como fuentes generadoras de electricidad a escala global, que incluyen los principales datos estadísticos (históricos y prospectivos), así como el potencial estimado de generación eoloeléctrica en los siguientes años en México.

En el capítulo tres se hace un estudio detallado de las principales regulaciones mexicanas existentes en materia de energía eólica y se compara con el marco regulatorio internacional. Se presentan algunas propuestas que se consideran imprescindibles en el fomento de la participación institucional en el ámbito regulador de los productores de energía eoloeléctrica.

El Análisis de Ciclo de Vida de la generación eólica de electricidad en México muestra que la energía eólica como fuente generadora de electricidad es, en principio, ambiental, económica y socialmente sustentable. En el capítulo cuatro se describen las principales características de dicha herramienta y se incluye un caso de aplicación así como los resultados obtenidos de éste, que ya han sido publicados en una revista internacional indizada.

El capítulo cinco muestra los factores económicos y sociales implicados en la generación eólica de electricidad, luego se hace un breve comparativo con otros países y se presentan los principales indicadores económicos y sociales a considerar.

En el capítulo seis se expone el análisis de sustentabilidad de la generación eólica mexicana y se presenta un resumen de los principales aspectos ambientales, económicos, sociales e institucionales que resultaron de interés en el presente trabajo de investigación.

Finalmente, en el capítulo siete se presentan las conclusiones obtenidas durante el desarrollo de este estudio.

---

---

## Índice de contenido

Presentación .....	1
Índice de contenido.....	2
Índice de tablas.....	5
Índice de figuras.....	6
1 INTRODUCCIÓN .....	7
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	10
1.2 HIPÓTESIS.....	10
1.3 MARCO CONCEPTUAL .....	11
1.4 METODOLOGÍA .....	12
1.5 OBJETIVOS .....	15
1.5.1 <i>Objetivos particulares</i> .....	15
2 USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO FUENTES GENERADORAS DE ELECTRICIDAD .....	16
2.1 DIAGNÓSTICO DE LA GENERACIÓN EÓLICA. GENERACIÓN SUSTENTABLE DE ELECTRICIDAD .....	19
2.2 POTENCIAL EÓLICO EN MÉXICO .....	26
2.3 CAPACIDAD EÓLICA INSTALADA Y CAPACIDAD DE GENERACIÓN / VARIOS AÑOS .....	27
2.3.1 <i>Producción actual de energía eólica</i> .....	32
2.4 PROSPECTIVA DE GENERACIÓN EÓLICA DE ELECTRICIDAD .....	33
2.4.1 <i>Potencial de generación estimado en prospectivas oficiales</i> .....	34
2.4.2 <i>Global del país</i> .....	35
2.4.3 <i>Por regiones</i> .....	35
2.4.4 <i>Servicio público</i> .....	35
2.4.5 <i>Inversión privada</i> .....	37
2.5 CONCLUSIÓN.....	37
3 MARCO REGULATORIO MEXICANO EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES. LA ENERGÍA EÓLICA.....	39
3.1 MARCO LEGAL EN MATERIA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y DE APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA.....	40
3.1.1 <i>Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos</i> .....	41
3.1.1.1 <i>Artículo 25</i> .....	41
3.1.1.2 <i>Artículo 27</i> .....	41
3.1.1.3 <i>Artículo 28</i> .....	42
3.1.2 <i>Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, LAERFTE</i> .....	42
3.1.3 <i>Ley de la Industria Eléctrica</i> .....	43
3.1.4 <i>Ley de Inversión Extranjera</i> .....	44
3.2 EVOLUCIÓN/CAMBIOS/EN MATERIA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA.....	45
3.2.1 <i>Ley General de Cambio Climático, LGCC</i> .....	45
3.2.2 <i>Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, LGEEPA</i> .....	47
3.2.3 <i>Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía</i> .....	48
3.2.4 <i>Plan Nacional de Desarrollo, PND, 2013-2018</i> .....	49
3.2.5 <i>Estrategia Nacional de Cambio Climático, ENCC, 2013</i> . .....	49
3.2.6 <i>Reforma Energética, RE, del 2013</i> .....	51
3.3 INSTRUMENTOS QUE FOMENTAN LA PARTICIPACIÓN DE LAS FUENTES RENOVABLES EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	54
3.3.1 <i>Ley del impuesto sobre la renta</i> . .....	54

---

---

3.3.2 Incentivos fiscales.....	55
3.3.2.1 Arancel cero.....	55
3.3.2.2 Depreciación acelerada de inversiones en activos fijos para generación de energía proveniente de fuentes renovables.....	55
3.3.2.3 Impuesto al carbono.....	55
3.3.2.4 Tarifa preferencial para la transmisión de energía.....	55
3.3.2.5 Medición neta (Net Metering).....	55
3.3.2.6 Metodología de contraprestaciones para el pago a los generadores de ER.....	55
3.3.3 Fondos y Medios de financiamiento.....	56
3.3.3.1 Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE).....	56
3.3.3.2 Fondo Sectorial CONACyT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética.....	57
3.3.3.3 Nacional Financiera, S.N.C., NAFIN.....	57
3.3.3.4 Banco Nacional de Obras y Servicios, S.N.C., BANOBRAS.....	57
3.3.3.5 Banco Nacional de Comercio Exterior, Bancomext.....	57
3.3.3.6 Fideicomiso de Riesgo Compartido, FIRCO.....	57
3.3.3.7 Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, FIDE.....	57
3.3.4 Programas.....	58
3.3.5 Construcción de nuevas líneas de transmisión.....	58
3.3.6 Metodología de cálculo de los costos de transmisión.....	59
3.3.7 Establecer el valor real de la electricidad (subsidios).....	59
3.4 SALVAGUARDAS SOCIOAMBIENTALES PREVISTAS EN LA LEY.....	60
3.5 CONCLUSIÓN.....	64
4 EL CICLO DE VIDA AMBIENTAL DE LA GENERACIÓN EÓLOELÉCTRICA.....	68
4.1 HISTORIA DEL Y METODOLOGÍA DEL ACV.....	71
4.1.1 Metodología del ACV.....	74
4.1.1.1 Definición de objetivos y alcance del ACV.....	75
4.1.1.2 Función y unidad funcional.....	75
4.1.1.3 Límites del sistema.....	76
4.1.1.4 Requisitos de calidad de datos.....	76
4.1.1.5 Comparación entre sistemas.....	76
4.1.2 Análisis de inventarios.....	77
4.1.3 Evaluación del impacto.....	77
4.1.4 Categorías de impacto ambiental.....	79
4.1.5 Informes, evaluación y mejoras.....	80
4.1.5.1 Presentación de informes.....	81
4.2 CASO DE ESTUDIO DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LOS GENERADORES EÓLICOS DE MAYOR USO EN MÉXICO.....	83
4.3 CONCLUSIÓN.....	90
5 FACTORES ECONÓMICOS Y SOCIALES RELACIONADOS CON LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO.....	92
5.1 FACTORES ECONÓMICOS.....	93
5.1.1 Costos de inversión.....	95
5.1.2 Optimización del área del proyecto.....	96
5.1.3 Costos de generación de la energía.....	97
5.2 ASPECTOS SOCIALES DE LA GENERACIÓN EÓLICA EN MÉXICO.....	100
5.2.1 Consideraciones principales.....	100
5.3 ENFOQUE SUSTENTABLE DE LA GENERACIÓN EÓLOELÉCTRICA EN MÉXICO.....	102
5.4 CONCLUSIÓN.....	108
6 ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD DE LA GENERACIÓN EÓLICA EN MÉXICO.....	109
6.1 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍAS RENOVABLES.....	109
6.2 INDICADORES DE DESARROLLO SUSTENTABLE SEGÚN SU CATEGORÍA TEMÁTICA.....	111



6.2.1 El esquema Presión-Estado-Respuesta, PER para la generación de los indicadores de desarrollo sustentable .....	113
6.2.1.1 Indicadores PER, Categoría Económica .....	114
6.2.1.2 Indicadores PER, Categoría Social .....	115
6.2.2 Indicadores para el Desarrollo Sustentable de la Agencia Internacional de Energía Atómica, IAEA .....	118
6.2.2.1 Sustentabilidad ambiental .....	122
6.2.2.2 Sustentabilidad económica .....	123
6.2.2.3 Sustentabilidad social .....	123
6.2.2.4 Aspecto institucional .....	124
6.3 CONCLUSIÓN .....	124
7 CONCLUSIONES .....	126
BIBLIOGRAFÍA .....	130
RECURSOS ELECTRÓNICOS .....	139
ANEXOS .....	141
I. GLOSARIO .....	142
II. ACRÓNIMOS .....	144
III. CLASIFICACIÓN DEL VIENTO .....	148
III.i. TIEMPO DE RETORNO VS EMISIONES EVITADAS .....	149
IV. NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONALES DE DISEÑO DE AEROGENERADORES .....	150
V. EMISIONES CONTAMINANTES SEGÚN TECNOLOGÍA .....	151
VI. GENERACIÓN EÓLICA DE ELECTRICIDAD .....	152
VI.i. INVENTARIO NACIONAL DE PARQUES EÓLICOS .....	152
VI.ii. CAMPOS EÓLICOS EN MÉXICO, EN OPERACIÓN Y PROSPECTIVAS .....	153
VI.iii. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD BRUTA DE PROYECTOS EÓLICOS 2013-2028 .....	156
VII. LIFE CYCLE ASSESSMENT: A CASE STUDY OF TWO WIND TURBINES USED IN MEXICO .....	158
VIII. LEGISLACIÓN AMBIENTAL .....	165
VIII.i. ESTRUCTURA INSTITUCIONAL/COMISIONES ENCARGADAS Y REGULADORAS .....	167
IX. RÉGIMEN FISCAL EN MATERIA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA .....	168
IX.i. TARIFAS DEL SECTOR ELÉCTRICO .....	168
X. EVOLUCIÓN/CAMBIOS EN IMPUESTOS Y SUBSIDIOS .....	171
XI. BASES DE DATOS Y TIPOS DE SOFTWARE EMPLEADOS PARA REALIZAR UN ACV .....	174
XI.i. BASES DE DATOS DISPONIBLES .....	174
XI.i.i África .....	174
XI.i.ii Región APEC y Asia .....	174
XI.i.iii Europa .....	176
XI.i.iv América .....	178
XI.ii. TIPOS DE SOFTWARE DISPONIBLES (GRATUITOS Y COMERCIALES) .....	185

---

---

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Principales características y costos asociados a los tipos de generador eólico. ....	18
<b>Tabla 2:</b> Progreso de la generación eólica desde el año 2008. ....	22
<b>Tabla 3:</b> Centrales eólicas privadas que entraron en operación en 2010. ....	28
<b>Tabla 4:</b> Características de los proyectos de generación eólica de electricidad, 2012. ....	28
<b>Tabla 5:</b> Permisos de generación de plantas eólicas al 2013. ....	30
<b>Tabla 6:</b> Permisos de generación eólica de electricidad existentes al 30 de Septiembre de 2014, por ubicación. ....	30
<b>Tabla 7:</b> Capacidad instalada efectiva de generación eólica en el país 2000-2013. ....	32
<b>Tabla 8:</b> Generación bruta de energía eólica en México, 2002-2015, MWh. ....	33
<b>Tabla 9:</b> Potencial eólico de generación de electricidad estimado. ....	34
<b>Tabla 10:</b> Requerimientos de capacidad adicional del servicio público, proyectos eólicos a desarrollar; 2014-2022. ....	36
<b>Tabla 11:</b> Principales actividades en la historia del análisis del Ciclo de Vida. ....	74
<b>Tabla 12:</b> Categorías de impacto utilizadas comúnmente. ....	78
<b>Tabla 13:</b> Principales actividades comúnmente incluidas en el ACV de un aerogenerador. ....	85
<b>Tabla 14:</b> Costos de generación eólica por país. ....	94
<b>Tabla 15:</b> Distribución de los costos asociados a una turbina eólica de 2 MW. ....	96
<b>Tabla 16:</b> Evolución en los precios según el tamaño del aerogenerador. ....	97
<b>Tabla 17:</b> Costos unitarios de generación de energía eléctrica en la CFE, 2013. ....	98
<b>Tabla 18:</b> Datos de entrada y supuestos para el análisis económico. ....	99
<b>Tabla 19:</b> Principales motivos de oposición social al desarrollo de un proyecto eólico en el Istmo de Tehuantepec. ....	104
<b>Tabla 20:</b> Dimensiones del desarrollo humano en Oaxaca, 2010. ....	105
<b>Tabla 21:</b> Parámetros socioeconómicos de Oaxaca, La Venta y La Ventosa, 2010. ....	106
<b>Tabla 22:</b> Indicadores de rezago social, 2010. ....	107
<b>Tabla 23:</b> Indicadores propuestos por la CDS, clasificados según su categoría. ....	112
<b>Tabla 24:</b> Indicadores de energía para el desarrollo sustentable. ....	119
<b>Tabla 25:</b> Clasificación del viento según la altura. ....	148
<b>Tabla 26:</b> Comparación del tiempo de retorno y las emisiones de varias tecnologías de generación de energía. ....	149
<b>Tabla 27:</b> Emisiones contaminantes por tipo de combustible. ....	151
<b>Tabla 28:</b> Generalidades de los campos eólicos nacionales existentes y en construcción en el primer semestre de 2014. ....	153
<b>Tabla 29:</b> Evolución de la capacidad bruta de proyectos eólicos 2013-2028 (período 2013 al 2020), MW. ....	156
<b>Tabla 30:</b> Evolución de la capacidad bruta de proyectos eólicos 2013-2028 (período 2021 al 2028). ....	157
<b>Tabla 31:</b> Costos unitarios de generación eléctrica, 2013. ....	170
<b>Tabla 32:</b> Precio medio, relación precio costo del suministro de la energía eléctrica y subsidios al consumidor de energía eléctrica del SEN, 2007-2012. ....	172
<b>Tabla 33:</b> Costos de la generación eólica de electricidad. ....	173
<b>Tabla 34:</b> Actividad mundial en la producción de datos de LCI. ....	179
<b>Tabla 35:</b> Organizaciones dedicadas a LCI. ....	180
<b>Tabla 36:</b> Bases de datos disponibles en los Estados Unidos. ....	181
<b>Tabla 37:</b> Organizaciones de bases de datos industriales. ....	183
<b>Tabla 38:</b> Otras fuentes de datos de LCI <sup>1</sup> . ....	184
<b>Tabla 39:</b> Tipos de software de ACV de mayor uso en el mundo. ....	190

---

---

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Representación esquemática del Ciclo de Vida de un producto genérico.....	13
<b>Figura 2.</b> Esquema de un aerogenerador. Principales componentes. ....	17
<b>Figura 3.</b> Mapa eólico mundial, capacidad instalada y producción de los principales países. ....	22
<b>Figura 4.</b> Potencial eólico nacional. ....	26
<b>Figura 5.</b> Turbinas eólicas instaladas en México según su capacidad y potencia nominal (%). ....	29
<b>Figura 6.</b> Marco legal en materia de generación eléctrica a través de fuentes renovables de energía.....	40
<b>Figura 7.</b> Etapas del Ciclo de Vida.....	70
<b>Figura 8.</b> Etapas de un ACV. Fuente Norma ISO 14040/44, (2006) .....	70
<b>Figura 9.</b> Impactos ambientales de los aerogeneradores A y B de 2.0 MW de capacidad. ....	85
<b>Figura 10.</b> Contribución de las diferentes fases del ciclo de vida a los impactos en el aerogenerador A: fabricación, construcción y disposición final. ....	86
<b>Figura 11.</b> Contribución de las diferentes fases del ciclo de vida a los impactos en el aerogenerador B: fabricación, construcción y disposición final. ....	87
<b>Figura 12.</b> Contribución de las diferentes fases del ciclo de vida a los impactos en el aerogenerador A por componente: rotor, cimentación, torre y nacelle. ....	87
<b>Figura 13.</b> Contribución de las diferentes fases del ciclo de vida a los impactos en el aerogenerador B por componente: rotor, cimentación, torre y nacelle. ....	88
<b>Figura 14.</b> Impacto en el PIB y en el empleo debido al desarrollo de 12,000 MW eólicos en México.....	104
<b>Figura 15.</b> Tecnologías renovables y su aportación a la seguridad energética y a la sustentabilidad.....	110
<b>Figura 16.</b> Modelo Presión-Estado-Respuesta .....	113
<b>Figura 17.</b> Ubicación geográfica de los principales campos eólicos nacionales de generación de electricidad.....	152
<b>Figura 18.</b> Legislación ambiental mexicana.....	166

---

---

## 1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la humanidad y los avances tecnológicos han llevado implícito el uso de energía en tareas que van desde la satisfacción de las necesidades básicas, hasta la fabricación de productos y la obtención de servicios, acciones que han definido los patrones de consumo de las sociedades. Desde la consolidación de la revolución industrial hasta nuestros días se ha llevado a cabo el uso masivo de combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas) debido a sus precios bajos y su amplia disponibilidad. A raíz de las crisis petroleras se han gestado modelos alternativos y se han aprovechado otras fuentes de energía, como la energía solar, la hidroenergía, la geotermia, la energía nuclear, la energía de la biomasa y, por supuesto, la energía del viento.

La aceptación que ha tenido la generación eoloelectrica ha sido principalmente por las ventajas ambientales que representa ya que durante su operación no genera gases de efecto invernadero, no emite contaminantes atmosféricos, no utiliza agua y no genera residuos peligrosos [Borja Díaz, et al., 1998]. Sin embargo, Moriarty y Honnery (2012) han señalado como los principales impactos ambientales de la generación eoloelectrica: la muerte de aves y murciélagos, una posible pérdida del hábitat de especies nativas, contaminación por ruido y vibraciones en poblaciones cercanas, efectos adversos en el paisaje; los parques eólicos costa afuera, podrían afectar a los mamíferos marinos y, finalmente, se podrían presentar posibles cambios climáticos en la implementación a gran escala [Moriarty y Honnery, 2012].

La historia del aprovechamiento moderno de la energía del viento a gran escala mediante turbinas eólicas se remonta a los años posteriores a 1985, con diversas investigaciones realizadas en los Estados Unidos. A partir de entonces esta tecnología comenzó su perfeccionamiento en la Unión Europea (UE) y 10 años después dicho desarrollo tuvo su mayor auge en países como Dinamarca, Alemania y España [Cancino-Solórzano, et al., 2011; Kaldellis, John K. y Zafirakis, D., 2011; EWEA, 2004]. Actualmente países como China, Alemania e India ocupan los tres primeros lugares en la manufactura de turbinas eólicas [The Wind Power, 2013a].

En la actualidad se han construido generadores eólicos para cubrir las necesidades de los distintos usuarios; así la gama va desde grandes turbinas con tecnología para su uso en tierra o costa adentro (onshore), costa afuera (offshore), hasta turbinas para solventar la demanda de pequeños consumidores de las poblaciones, sobre todo rurales. A la fecha, la tecnología en tierra se fabrica a gran escala y es más utilizada que la tecnología costa afuera, no obstante, esta última tiene un gran potencial de desarrollo.

En el año 2004 la European Wind Energy Association en su primer estudio '*Wind Energy - The Facts – an analysis of wind energy in the EU-25*', indicó que el uso de la energía eólica comercial habría iniciado inmediatamente después de la crisis del petróleo cuando los temas de seguridad y diversificación de las fuentes de energía -y en menor medida la sustentabilidad en el largo plazo-, generó el interés en la utilización de energías limpias. Se proyectaba que en conjunto, la UE incrementaría su capacidad de generación eólica hacia el 2010 en 35,000 MW de los 40,000 MW instalados a finales del 2003 [EWEA, 2004]. No obstante, en Febrero de 2011 la Asociación Alemana de Energía Eólica (German Wind Energy Association) reportó que esta meta fue superada, situándose en una capacidad instalada de 84,278 MW para ese mismo año [GWEA, 2011; GWEA, 2010].

---

Por su parte, Kaldellis y Zafirakis (2011), indicaron que el uso de fuentes alternativas de energía en el mundo, en particular el recurso eólico, se incrementó debido a tres causas principales: 1) la necesidad de solventar la creciente demanda de energía eléctrica, 2) el incremento de los precios de los combustibles fósiles debido a su escasez y, 3) los impactos del cambio climático. De manera que, para enfrentar los problemas asociados a la escasez de energéticos fósiles y a la variación de los precios internacionales de la energía, en México -como ya lo venían vislumbrando desde finales de la década de los setenta en el siglo pasado- se hizo necesaria la instrumentación de políticas de promoción de las fuentes renovables de energía [Wionczek, 1988; Wionczek, 1987; Wionczek, 1983; Wionczek, 1982]. Desde entonces se planteaba la necesidad de determinar el potencial de generación eléctrica a través de otras fuentes de energía, de manera que instituciones diversas se han dado a la tarea de medir tal potencial.

En los últimos años, se han desarrollado importantes estudios para determinar, principalmente, el potencial de generación de electricidad a partir de las distintas fuentes de energía renovable. En documentos recientes, se ha señalado que México cuenta con importantes recursos de energía renovable: eólico (con un potencial de 71 GW, con factores de carga entre 20-40%, se tenía una capacidad instalada de 1,638 MW al final del año 2013 y se propone un aprovechamiento de 12 GW al 2020 [PROMÉXICO, 2014a; SENER, 2014b; SENER-AMDEE, 2012], potencial solar (entre 5 y 6 kWh/m<sup>2</sup> de insolación diaria media en 90% del territorio nacional y se contaba con 39.8 MW de capacidad instalada al cierre del 2013 [SENER, 2014b; SENER, 2012a], geotérmico (potencial estimado de más de 40,000 MW y una capacidad instalada al año 2013 de 823 MW [SENER, 2014b; PROMÉXICO, 2013a], e hídrico (53,000 MW de potencial y más de 11,630 MW de capacidad instalada al 2013) [SENER, 2014b; PROMÉXICO, 2013a; CFE, 2011; INE-Semarnat, 2006; IILSEN, CIE-UNAM, 2004], cuyo aprovechamiento contribuye también a la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), problema que desde hace algunos años ha ocupado un sitio central en la agenda en contra del cambio climático [INE, 2010].

Tomando como base el mencionado potencial eólico y su disponibilidad, Barringer, et al., 2003; Huacuz, 2003; Borja Díaz, et al., 2005; la Comisión estatal de energía de Baja California, 2009; Zamora Machado, et al., 2010; Romero Hernández, et al., 2011; la SENER, 2011, han resaltado la importancia de aprovechar el recurso eólico de México mediante un proceso de generación más eficiente y bajo un enfoque sustentable que resulte favorable para la totalidad de los participantes en el sistema energético del país. No obstante, los patrones de consumo actual y el uso de recursos fósiles obligan a la consideración de las tres dimensiones involucradas en el concepto de sustentabilidad: ambiental, económica y social. La apreciación de estos enfoques constituye la base para solventar las necesidades presentes de energía sin poner en riesgo su disponibilidad en el futuro, tal y como lo establece el concepto de desarrollo sustentable, indicado por Benoit, 2010; UNEP, 2009; UNESCO, 2006; Weidema, 2006; Harris, 2003 y van Schooten, 2003.

Adicionalmente, Oswald y Brauch (2009) señalan que *'... La creciente intervención humana, especialmente por el uso de fuentes de energía de origen fósil, ha conducido a un periodo antropogénico del cambio climático mundial. Gracias a los conocimientos que se fueron adquiriendo acerca de la contribución antropogénica al cambio ambiental mundial (CAG), y en particular al cambio climático, el desarrollo sustentable se alzó como principal objetivo de políticas en la Cumbre para la Tierra de Río de Janeiro (1992), en el Informe del Milenio (2000), en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sustentable (CMDS) de Johannesburgo (2002) y en la CDS'* [Oswald y Brauch, 2009, p.2].

A este respecto se ha de mencionar que durante la ejecución de algunos procesos productivos actuales (y ya desde hace algunas décadas), se han realizado esfuerzos para la protección ambiental. Por un lado, se

---

---

ha minimizado el uso y consumo de recursos (insumos) a través de un aprovechamiento más eficiente de la energía, se han reducido los residuos tanto en la generación como los efectos negativos en el ambiente y por otro, se han eficientizado tanto los procesos como el uso de recursos (materiales y energéticos).

A la par, los costos económicos a los que conlleva la explotación y uso de los recursos naturales destinados a solventar las demandas energéticas de la sociedad son un buen ejemplo de lo imperativo que resulta adicionar la dimensión económica a los otros dos aspectos de la sustentabilidad: el ambiental y el social [Romero Hernández, et al., 2011; Benoit, 2010; Rai, Varun y Victor, David G., 2009; Centre for Good Governance, 2006; Weidema, 2006; Barringer, et al., 2003; van Schooten, 2003].

Uno de los primeros esfuerzos para considerar los aspectos ambientales simultáneamente con el aspecto económico se hizo a través del uso de la huella ecológica. Utilizada para evaluar los impactos de las actividades humanas sobre la naturaleza, como una herramienta para cuantificar los efectos que éstos tienen en el planeta [UNESCO, 2012; CEPAL, 2009; Wackernagel y Rees, 1996]. Esta cuantificación de las acciones humanas sobre el planeta surge como una necesidad de asignar un valor o pago (compensación) por la pérdida de los servicios; es decir, no basta con conocer y medir los impactos antropogénicos en el entorno, sino que también es primordial conocer cuál es el costo económico del desarrollo de la humanidad y su búsqueda de satisfactores.

La valoración económica de los recursos y servicios ambientales podría estar íntimamente ligada con la percepción y el bienestar social; en este sentido, en épocas recientes el Análisis de Ciclo de Vida se ha utilizado para cuantificar no sólo los impactos ambientales y económicos que implica el proceso de producción de un servicio o producto, sino que también se le ha intentado utilizar para cuantificar los efectos sociales. De esta forma, estos tres aspectos estarían considerados para lograr el cumplimiento de acciones de protección y aprovechamiento eficiente de los recursos en la satisfacción de las necesidades de la población de una forma sustentable.

No obstante, el concepto de sustentabilidad no se ha aplicado de forma ‘íntegra’, es decir, interactúan por separado las tres dimensiones ya mencionadas o simplemente no se consideran. Aunado a ello, se deja fuera la herramienta que instrumenta, facilita, promueve y regula el pleno funcionamiento de los aspectos que integran al concepto de sustentabilidad: la dimensión institucional [Ayala Espino, 1999; Ayala Espino, 2003]. Es entonces necesario resaltar que este aprovechamiento requiere de una regulación para su adecuado funcionamiento [Romero Hernández, et al., 2011; UNEP, 2009; van Schooten, et al., 2006; Gauthier, 2005; Waggoner y Ausubel, 2002].

Considerando la premisa de una generación sustentable de energía, en los últimos años se han elaborado diversos trabajos en los que se ha estudiado el uso de la energía eólica en la generación de electricidad<sup>1</sup>. El objetivo ha sido mitigar los efectos del cambio climático y la diversificación de fuentes de generación de electricidad [EWEA, 2011; IMCO-PNUMA, 2011; SENER, 2010; Banco Mundial, 2009; McKinsey, 2008; ANES, 2007; SENER-GTZ, 2006; EWEA, 2004; IILSEN, CIE-UNAM, 2004]. En éstos se han establecido líneas de investigación que sugieren que en la expansión para la generación de electricidad a través de energía eólica se debe asegurar tanto la sustentabilidad (el aspecto ambiental, el económico y el social), como los aspectos esenciales en el diseño de mecanismos para su desarrollo, reforzados por el aspecto regulatorio.

---

<sup>1</sup> El Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, por sus siglas en inglés) de los EE UU, estimó en poco más de 44,000 MW el potencial eólico de Oaxaca [Juárez-Hdz y León, 2013].

En esta investigación se clasifica la literatura concerniente al uso y aprovechamiento de la energía eólica en tres grandes grupos, a saber: 1) el que considera el adecuado aprovechamiento del potencial del recurso eólico de México con enfoque económico, 2) el grupo que indica que la eoloelectricidad es la forma ideal de reducir los efectos asociados al problema del cambio climático mediante la disminución de emisiones de GEI desde el sector de la energía, y finalmente, 3) el que busca un beneficio social a través de la implementación de campos eólicos en regiones diversas priorizando los impactos sociales y del paisaje. Cabe mencionar que ninguno de ellos considera en conjunto los tres aspectos de la sustentabilidad (ambiental, social y económico) dentro de un marco regulatorio que instrumente su desempeño integral en la generación de energía eoloelectrica en México.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El incremento en las emisiones nacionales de los GEI de 561.035 MtCO<sub>2eq</sub> en 1990 a 748.25 Mt en 2010 (de 33.4% a una tasa promedio de crecimiento anual, TPCA, de 1.5%) colocan a México como el 12° país con mayores emisiones de GEI y séptimo con mayor TPCA en emisiones de GEI (en 2012 88.5% de la electricidad generada en el país era mediante combustibles fósiles); por otro lado, las constantes fluctuaciones en el precio del petróleo obligan a México a explorar fuentes renovables de energía. Dentro de estas fuentes sustentables de energía, se explora el potencial eólico regional de nuestro país.

Por tal motivo en este estudio se considera que en cualquier expansión o uso a gran escala de la energía eólica se deben incluir los tres ejes de la sustentabilidad (el aspecto ambiental, el aspecto económico y el aspecto social) desde una perspectiva que integre el aspecto regulatorio en la expansión de la energía eólica como un cuarto eje rector.

De esta forma, durante la implementación de una política energética que fomente la generación eoloelectrica se deben encontrar los incentivos y mecanismos de expansión que consideren a la sustentabilidad en el marco regulatorio como eje principal del desarrollo.

## 1.2 HIPÓTESIS

*A través del análisis integrado de los aspectos ambiental, económico, social y regulatorio es posible realizar un análisis de la sustentabilidad de la generación eólica que contribuirá a disminuir los efectos adversos del cambio climático e incrementar el beneficio a los agentes involucrados en la expansión y uso de la energía eólica a gran escala en la generación de electricidad en México.*

---

### 1.3 MARCO CONCEPTUAL

El marco conceptual de esta tesis es interdisciplinario, fundamentado en elementos descriptivos del proceso de generación de electricidad mediante energía eólica de manera sustentable. En primer lugar se presenta el panorama general del uso de las energías renovables y en particular de la energía eólica en la generación de electricidad en el ámbito internacional y en México. Enseguida se describe un aerogenerador y su utilidad en el aprovechamiento de la energía del viento [Borja Díaz, et al., 2005; Borja Díaz, et al., 1998]. Posteriormente se realiza una revisión del potencial eólico disponible en México, las cifras de generación de electricidad presentes y las proyecciones estimadas [SENER, 2014a; CFE, 2011; SENER, 2011a; SENER, 2010; AMDEE, 2009; ANES, 2007; SENER, 2007; INE-Semarnat, 2006; SENER, GTZ, 2006; IILSEN, CIE-UNAM, 2004].

Aproximadamente dos terceras partes de los GEI nacionales se deben a la quema de combustibles fósiles con fines energéticos [INECC-Semarnat, 2012]. Por lo tanto, con el fin de mitigar las emisiones nacionales de GEI, es necesario sustituir los energéticos fósiles por energéticos renovables con emisiones de GEI en su Ciclo de Vida mucho menores que cualquier fósil, como es el caso de la energía eólica [Moriarty y Honnery, 2012; Martínez, et al., 2009]. Por lo tanto el uso de fuentes renovables se presenta como solución al grave problema ambiental del cambio climático mundial, ya que la tendencia actual de generación de contaminantes indica que México puede contribuir de manera importante a la reducción de emisiones GEI [IPCC, 2007].

Otro factor importante en la problemática analizada es el agotamiento de las reservas probadas de hidrocarburos [Moriarty y Honnery, 2012]. Por tal motivo, con el fin de evitar el rezago económico del país es imprescindible hacer uso de los energéticos renovables con los que México cuenta en abundancia en un esquema integral de transición energética que disminuyan los efectos adversos del cambio climático [Rai, Varun y Victor, David G., 2009], situación que se referirá brevemente en capítulos posteriores. No obstante lo anterior, en los últimos 37 años la participación de las energías renovables en la generación de electricidad en México había estado disminuyendo. Lo que contribuyó al incremento de los niveles de contaminación y a nuevos riesgos por las emisiones de los GEI [CFE, 2013a; SENER, 2011a].

Una forma alternativa de generación de electricidad que podría ser utilizada en México es la energía nuclear; sin embargo los acontecimientos en Fukushima, Japón ocurridos en el año 2011 muestran los riesgos asociados al uso de dicha fuente de energía, sin mencionar los costos asociados al combustible (el uranio no se enriquece en México, es necesario importarlo), a las emisiones generadas, así como el posterior problema en el confinamiento del material gastado. Estos hechos implican desventajas frente a la generación eólica de electricidad que representa nulos riesgos asociados. Autores como Borja, et al., (1998) describen los beneficios y desventajas propias del uso del recurso eólico mexicano como una manera sustentable de generación eléctrica.

Harris (2003) define la sustentabilidad como la capacidad de un sistema (natural, social o económico) para mantenerse a sí mismo. Existen tres dimensiones fundamentales a considerar dentro del enfoque de la sustentabilidad: la económica, la ambiental y la social. Asimismo, un sistema con un nivel aceptable de sustentabilidad económica debe ser capaz de producir bienes y servicios sobre una base continua para mantener niveles adecuados de deuda pública y externa y evitar desequilibrios sectoriales extremos que perjudican la producción agrícola o industrial [Harris, 2003].



Ahora bien, un sistema con un nivel aceptable de sustentabilidad ambiental debe mantener una base de recursos estable, evitando la sobreexplotación de los recursos renovables o las funciones de servicios ambientales. Los recursos/potenciales no renovables deberían agotarse sólo en la medida en que se invierte en los sustitutos adecuados. Esto incluye el mantenimiento de la biodiversidad, la estabilidad atmosférica y otras funciones del ecosistema, que normalmente no se clasifican como recursos económicos. Y, finalmente, un sistema con un nivel aceptable de sustentabilidad social debe lograr la equidad en la distribución y oportunidades para todos mediante una adecuada prestación de servicios sociales, incluyendo salud y educación, equidad de género, así como responsabilidad política y la participación [Harris, 2003].

Se estudia el concepto de sustentabilidad conformado por la dimensión ambiental, económica y social [Brown y Sovacool, 2007]; además, como un cuarto eje rector se analiza la regulación existente asociada al concepto de la sustentabilidad, como lo indica Ayala, a través de las medidas regulatorias necesarias y adecuadas, que han de permitir vigilar y dar seguimiento del proceder de las partes involucradas en los proyectos de generación eólica en México [Ayala Espino, 2003; Ayala Espino, 1999].

El uso del recurso eólico en la generación de energía eléctrica con un nivel aceptable de sustentabilidad se apoya en el análisis de escenarios diversos a fin de seleccionar aquel que proporcione los resultados idóneos a las partes involucradas simultáneamente (sociedad, gobierno y desarrolladores).

Por último, de acuerdo a los tratados internacionales en materia de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero y de la lucha contra el cambio climático, en México el marco regulatorio se ha ido transformando y se han estado creando y modificando las políticas públicas que describen acciones encaminadas a lograr la transición a una economía competitiva y de bajo carbono mediante el manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Ejemplos de ello son la Ley General de Cambio Climático y la Reforma energética.

En materia de generación eléctrica se contempla el uso de las fuentes renovables de energía (eólica, geotérmica, hidráulica, mini hidráulica, biomasa y la energía solar) con sus respectivas ventajas socioeconómicas y ambientales, y el decremento en los costos de generación de electricidad debido a la transición hacia las energías renovables. No obstante gobierno, sociedad y el sector privado ahora deberán trabajar estrechamente en el cumplimiento de los objetivos marcados en las regulaciones en beneficio del país.

## 1.4 METODOLOGÍA

Los propósitos anteriores, se lograron en primer lugar mediante una revisión bibliográfica del proceso relacionado con la generación de electricidad a partir de la energía eólica para conocer las principales limitaciones o barreras que enfrenta su uso comercial.

Se identificaron y cuantificaron los efectos ambientales, sociales y económicos de la generación eólica como pilares fundamentales del concepto de sustentabilidad. De forma que los efectos ambientales se

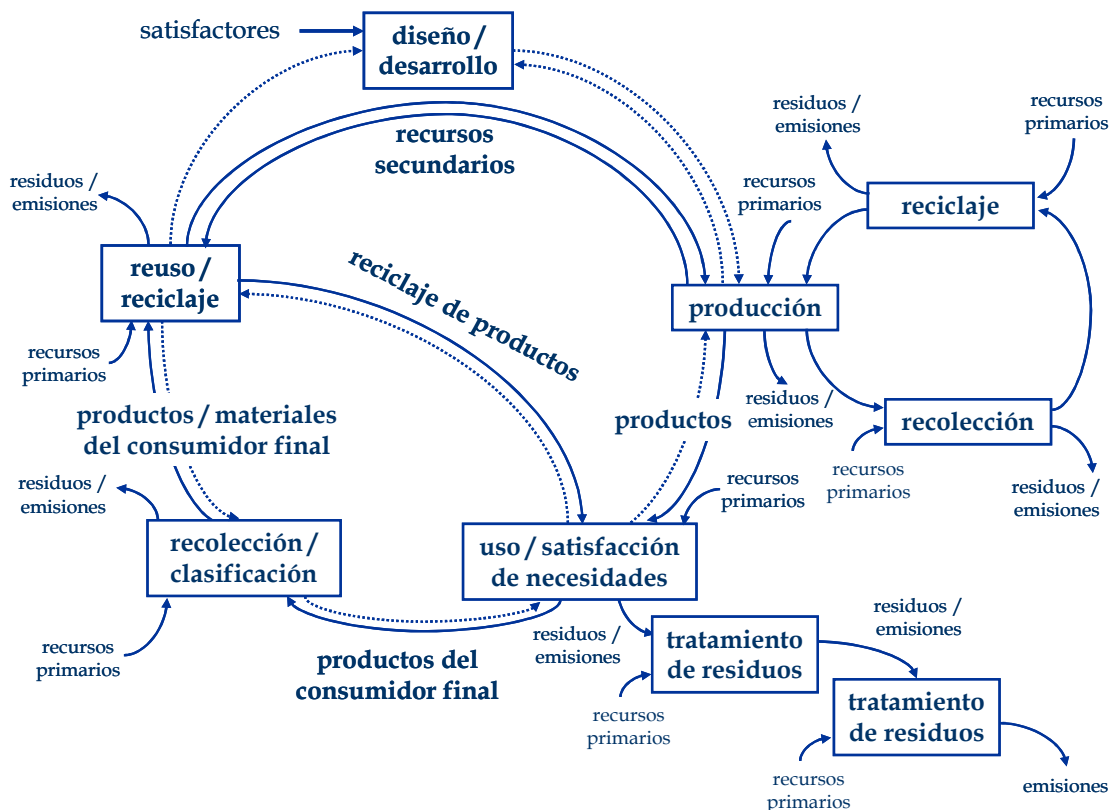
---

cuantificaron a través del Análisis de Ciclo de Vida ambiental (ACV), ello mediante la herramienta SimaPro. A través del Análisis de Ciclo de Vida se conoció y se cuantificó el efecto ambiental asociado a una turbina eólica en México.

Se pueden determinar los niveles de contaminación de ciertos materiales, lo que permite estimar los efectos ambientales en los procesos de fabricación y reciclaje de los aerogeneradores y sus componentes. En este análisis se desarrollaron estrategias que son fundamentales para eficientar el proceso de producción. Éstas, a su vez, permitirán reducir de manera importante los niveles de la contaminación ambiental, ya que se estará considerando un mejor aprovechamiento de los recursos y del manejo de los materiales involucrados [Müller, et al., 2006].

La generación de productos y servicios de una manera más limpia es, a últimas fechas, un punto medular que se está integrando a los patrones de producción. El análisis del Ciclo de Vida de estos productos y servicios, es pues, una herramienta que permite cuantificar y reducir los efectos negativos que éstos representan.

En la Figura 1 se muestra un esquema simplificado del concepto de Ciclo de Vida de un producto, el cual incluye las etapas comprendidas entre las fases de toda la vida de dicho producto. Algunos ejemplos de estas etapas son el reúso y reciclaje de los productos por el consumidor final (generados en la fase final de la vida del producto) o el reciclado de los residuos generados.



**Fuente:** Rebitzer, et al., 2004.

**Figura 1.** Representación esquemática del Ciclo de Vida de un producto genérico.

**Nota:** Las flechas completas representan los flujos de materia y energía, las flechas punteadas representan los flujos de información.

Dentro del estudio del Ciclo de Vida, por lo general se excluye la etapa de diseño/desarrollo, por lo que se asume que ésta no es importante. Sin embargo, es un hecho que la etapa en cuestión influye ampliamente en los impactos ambientales en las otras etapas del Ciclo de Vida ya que el diseño de un producto predetermina enormemente su comportamiento en las etapas subsecuentes; de manera que, si el objetivo de un ACV, es eficientar la producción de bienes y servicios, el estudio se deberá llevar a cabo durante la etapa del diseño.

Internacionalmente, existe la normatividad que regula los procedimientos que se siguen durante un ACV; estas son las normas internacionales de la serie ISO:

- Norma Internacional ISO 14040, sobre los principios y regulaciones, y
- Norma Internacional ISO 14044, sobre requisitos y lineamientos.

Las mejores opciones que permitan fomentar la generación eólica de electricidad en el país, tomando en cuenta los aspectos sociales involucrados, con menores efectos negativos y con el mayor beneficio social posible aportarán la información necesaria que hará posible realizar el análisis de sustentabilidad de la generación eólica. Asimismo, se promueven las adecuaciones y mejoras de las condiciones sociales imperantes y las políticas pertinentes encaminadas a lograr el bienestar en las zonas cercanas a los sitios de generación de eoloelectricidad.

El análisis económico se llevó a cabo mediante la comparación de los costos internacionales de la fabricación de un aerogenerador vs. los costos de la tecnología eólica nacional. La eficiencia económica se verá favorecida con la implementación de mejores prácticas nacionales al proceso de producción de los aerogeneradores y dentro del proceso mismo de generación eoloelectrónica. Por un lado, la sustentabilidad económica requiere que los distintos tipos de capital que posibilitan la producción (incluyendo al capital de producción, capital natural y capital humano) sean mantenidos o incrementados, como lo explica el concepto de sustentabilidad, que muestra la necesidad de mantener una renta sostenible que permita la obtención de una utilidad, un consumo per cápita o un bienestar social iguales o mayores<sup>2</sup> [Fernández Latorre, 2006; Turner, et al., 1993].

La conservación de los ecosistemas y los potenciales naturales es esencial en la producción económica eficiente y la equidad (inter)generacional. Desde una perspectiva ecológica, tanto la población humana, como la demanda total de materiales deberían ajustarse a la disponibilidad de los recursos naturales y su capacidad de reciclamiento; la integridad de los ecosistemas y la diversidad de las especies. Ésto significa mantener el equilibrio existente entre la población y la capacidad de los ecosistemas de solventar las necesidades alimenticias y de vivienda. Los mecanismos de mercado regularmente no operan de manera efectiva para conservar este capital natural y al contrario, tienden a agotarlo y degradarlo. Lo mismo ocurre con las condiciones sociales, donde existe mundialmente un proceso agudo de concentración.

La equidad social, el cumplimiento de las necesidades básicas de salud y educativas, así como la democracia, son elementos cruciales para el desarrollo y la estabilidad política. Están además vinculadas con la sustentabilidad ambiental que tampoco se considera en el paradigma del mercado libre.

<sup>2</sup>Considerando que existe una perfecta sustituibilidad entre las diferentes formas de capital y de que el capital total  $K_T$  constante.

$K_T = K_n + K_m + K_h$ , donde:  $K_n$ : Capital natural, stock de la naturaleza que proporciona bienes y servicios útiles para el presente y el futuro (sistemas que sostienen la vida, biodiversidad, bosques, funcionalidad como fuentes y sumideros).  $K_m$ : Capital artificial o manufacturado, realizado por el hombre mediante medios de producción económica (edificios, bienes de equipo, carreteras, etc.);  $K_h$ : Capital humano, referido a los conocimientos humanos y la capacidad intelectual [Fernández Latorre, 2006; Turner et al, 1993].

El análisis de la sustentabilidad indica cuáles variables son las que se han de considerar en la obtención de las mejores condiciones de aprovechamiento de la eoloelectricidad de manera sustentable. Productores, sociedad y gobierno se verán beneficiados con los resultados.

El conocimiento de la interacción de los factores sociales, económicos y ambientales de la generación eoloelectrica a lo largo del tiempo durante las etapas del Ciclo de Vida (construcción, fabricación, operación y desmantelamiento) y el marco regulatorio se pudo estimar mediante el cálculo de un índice de sustentabilidad (evaluación de la sustentabilidad).

En el capítulo 4 se abundó sobre la historia del Análisis de Ciclo de Vida y sobre la metodología del ACV aplicado a tecnologías para el aprovechamiento de la energía eólica. También se muestran adaptaciones de ésta al estudio al caso de los generadores eoloelectricos de mayor uso en México.

## 1.5 OBJETIVOS

Realizar el análisis de la sustentabilidad de la generación eólica en México mediante el análisis de los aspectos ambientales, económicos, sociales y regulatorios de la generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del recurso eólico en México.

### 1.5.1 *Objetivos particulares*

- 1) Conocer el uso de las energías renovables como fuentes generadoras de electricidad y hacer un diagnóstico de la generación eólica mexicana.
- 2) Conocer el marco regulatorio mexicano en materia de energías renovables y de la energía eólica en México.
- 3) Analizar el Ciclo de Vida ambiental de un aerogenerador en México.
- 4) Conocer los factores económicos y sociales relacionados con la energía eólica en México.
- 5) Analizar la sustentabilidad de la generación eólica en México.

---

---

## 2 USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO FUENTES GENERADORAS DE ELECTRICIDAD

### INTRODUCCIÓN

Con la creciente demanda de energía eléctrica derivada de los patrones de consumo de las sociedades modernas, así como de la preocupación por la mitigación del cambio climático a través de actividades de obtención de energía con menos efectos negativos al ambiente que las fuentes fósiles de energía [IPCC, 2007], se ha despertado el interés tanto de gobiernos como de empresas y de la sociedad misma por el uso de energía limpia [Brown y Sovacool, 2007]. Con esta premisa, tanto la energía solar como la eólica son las que, por su eficiencia y por sus escasos efectos contaminantes, se han integrado a la matriz energética mundial.

Durante la segunda mitad del año 2014 se encontraban en operación en México 246 centrales de energías renovables, y se tuvo una inversión extranjera directa acumulada, entre 2003 a 2013, de más de 11,000 millones de dólares, principalmente en proyectos eólicos [PROMÉXICO, 2014a].

La generación eólica de electricidad consiste en el aprovechamiento de la energía cinética producto de las corrientes generadas por el movimiento de las masas de aire caliente y frío que es captado por los aerogeneradores y, posteriormente, es transformado a energía eléctrica por los mismos. Finalmente, la electricidad es dirigida a las líneas de transmisión y distribución que la llevan hasta el consumidor final.

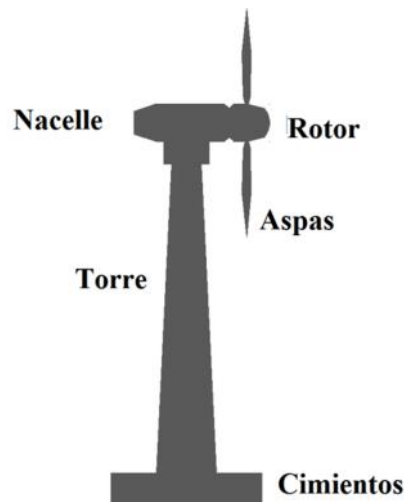
Sin embargo, a pesar de ser éste un recurso abundante y con muy pocos impactos al ambiente al ser utilizado en la generación de energía eléctrica, la electricidad así obtenida suele ser variable e impredecible; por ejemplo, en los países generadores se han presentado ciertas dificultades para el aprovechamiento de la energía eólica que van desde obstáculos en el acceso a la red de transmisión y retrasos en la conexión a la red de distribución, a limitaciones regulatorias en las que se hace difícil integrar grandes cantidades de energía eólica o de otras fuentes renovables intermitentes al sistema eléctrico. También se ha dado una escasez de personal calificado en los nuevos mercados en rápido crecimiento, como en África y América Latina, así como en algunos mercados más maduros donde la incertidumbre política hace que sea difícil mantener personal capacitado en el sector [REN 21, 2014]. Estos son los nuevos retos con los que se está enfrentando la generación eólica en los últimos años.

No obstante, la experiencia y los estudios detallados de muchas regiones han demostrado que la integración de la energía eólica en general, carece de obstáculos técnicos insuperables.

El viento es un recurso renovable e inagotable que se encuentra disponible sin necesidad de aplicar procesos extractivos, su manejo y explotación no implica riesgos ambientales de alto impacto pues no se presentan, por ejemplo, derrames por transporte, explosiones, incendios, etc. [Borja Díaz, et al., 1998].

Estas ventajas, han facilitado su promoción entre los países industrializados a nivel internacional pues la generación eólica contribuye de manera importante con la creación de empleos, impulsa el desarrollo regional, atrae la inversión privada, reactiva la economía, propicia la creación de pequeñas y medianas empresas (PyMES) y el ahorro de combustibles fósiles, promueve el abastecimiento de electricidad utilizando fuentes locales de energía, así como la disminución de los riesgos debidos al abastecimiento de energéticos. De igual modo se logra aprovechar terreno erosionado por el viento, superar la pobreza campesina, reactivar el desarrollo rural, y la diversificación de empleos rurales.

Borja Díaz, et al., (1998) define a un aerogenerador como un sistema que transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica. Los aerogeneradores están integrados por sistemas aerodinámicos, mecánicos, eléctricos y electrónicos complejos. Sus principales componentes son: el rotor que consiste básicamente en un concentrador, la nariz o cono y tres aspas; la nacelle o góndola que está integrada por una cubierta en la que se encuentra el generador, el multiplicador, el equipo eléctrico y el mecánico; la torre que brinda a la turbina la altura necesaria para un máximo aprovechamiento de la velocidad del viento, da soporte a la nacelle y al rotor; y los cimientos que soportan a la estructura total del aerogenerador (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema de un aerogenerador. Principales componentes.

De manera general, el funcionamiento es el siguiente: el viento mueve las aspas situadas en el rotor, las aspas giran en un eje horizontal conectado al multiplicador y a un generador eléctrico que produce la energía eléctrica; éstos se conectan a las redes eléctricas convencionales cuando son usados para generar electricidad a gran escala<sup>3</sup>. Cuando los aerogeneradores se encuentran interconectados entre sí conforman una central eoloelectrónica; la electricidad que generen se integrará a la producción del sistema eléctrico. Las centrales interconectadas de generación eólica tuvieron sus orígenes en los Estados Unidos a principios de los 80's, no obstante el perfeccionamiento de los aerogeneradores tuvo lugar en la Unión Europea, siendo Dinamarca, Alemania, Holanda, el Reino Unido, Italia y España, los principales países que realizaron investigaciones en este campo para eficientar el proceso de generación de las tecnologías existentes [Borja Díaz, et al., 1998].

<sup>3</sup> Un proyecto eólico comercial deberá situarse en regiones con potenciales de viento de entre 4 y 7 [CFE, 2013c].

En la Tabla 1 se muestran las principales características y los costos asociados a los tipos de generador eólico que se han creado en los últimos años [REN21, 2014].

**Tabla 1:** Principales características y costos asociados a los tipos de generador eólico.

Tipo de generación	Características comunes	Costos capitales (USD/kW)	Costos típicos de energía (LCOE ¢USD/kWh)
<b>Generación eléctrica</b>			
<b>Turbina en tierra</b>	Tamaño de la turbina: 1.5-3.5 MW Factor de capacidad: 25-40%	925-1,470* 1,500-1,950 <sup>W</sup>	4-16 (OECD) 4-16 (non-OECD)
<b>Turbina costa afuera</b>	Tamaño de la turbina: 1.5-7.5 MW Factor de capacidad: 35-45%	4,500-5,500	15-23
<b>Turbina pequeña escala</b>	Tamaño de la turbina: > 100kW	Promedio 6,040 <sup>#</sup> 1,900 <sup>&amp;</sup>	15-20 (USA)
<b>Energía rural</b>		<b>Costos de instalación (USD/kW) o LCOE (¢USD/kWh)</b>	
<b>Turbina eólica pequeña</b>	Tamaño de la turbina: 0.1-3 kW	Costos capitales: 10,000/kW (turbina 1 kW); 5,000/kW (5 kW); 2,500/kW (250 kW) LCOE: 15-35+	

**Fuente:** REN21, 2014.

\* China e India; <sup>W</sup> Otros países; <sup>#</sup> USA; <sup>&</sup> China

Los avances tanto en investigación como en el desarrollo han permitido reducir el peso de los aerogeneradores, lo que facilita el proceso de generación y reduce los costos de fabricación, instalación, operación y mantenimiento. El factor de producción de electricidad mediante aerogeneradores se encuentra directamente relacionado al régimen de viento, de tal manera que se han desarrollado rotores más grandes y eficientes para aplicaciones en lugares con vientos bajos y moderados. El desarrollo de nuevos materiales ha hecho posible la creación de diseños por fatiga, considerando cargas dinámicas incrementando su vida útil y una mayor protección contra descargas eléctricas atmosféricas (problema de mayor efecto reportado), entre otras ventajas. Cabe señalar que a la par, se han mejorado los sistemas de regulación de la potencia en aplicaciones con vientos intensos [Borja Díaz, et al., 1998].

A su vez, se ha posibilitado la disminución del ruido acústico de las aspas, de la caja de transmisión, así como del generador eléctrico reduciendo este problema de forma importante. Existen estudios sobre la mortalidad de aves al chocar contra la estructura y el rotor. En éstos se sugiere que los aerogeneradores no representan una amenaza significativa en la vida de las aves respecto de otras actividades humanas. La reducción del peso de los aerogeneradores y los diseños aerodinámicos han mejorado la apariencia física y la eficiencia, lo que ha contribuido a la aceptación de la tecnología.

Tales avances y mejoras han incrementado la factibilidad ambiental de la construcción de centrales eolieléctricas en zonas dedicadas a la agricultura. Por ejemplo, como lo señala Borja Díaz (1998), con generadores de entre 40 y 50 metros de diámetro se afecta menos de 5% del terreno sobre el que se construya dicha central; a manera de ventaja, el resto de esta superficie puede seguirse utilizando de la manera original [Borja Díaz, et al., 1998].

Las innovaciones tecnológicas no sólo han sido de utilidad en la obtención de un mejor y mayor aprovechamiento del recurso eólico sobre las tecnologías antiguas; por ejemplo, la repotenciación incrementa la generación eólica de electricidad mientras disminuye su huella ecológica. Una turbina de 2 MW y de un diámetro de 80 m actualmente genera 6 veces más electricidad que una de 500 kW y 40 m de diámetro construida en 1995. Esta repotenciación tuvo sus inicios en Dinamarca y Alemania, expandiéndose a la India, Italia, Portugal, España, Reino Unido y a los Estados Unidos [IEA, 2013].

Así se ha logrado reducir los costos e/o incrementar su eficiencia, con aspas más largas, velocidades de viento más bajas y materiales nuevos como el concreto de las torres y fibra de carbono en las aspas. Durante el 2012, al menos dos compañías pusieron en el mercado turbinas diseñadas para sitios con vientos bajos; como ejemplo, General Electric (GE), empresa fabricante de generadores eólicos, comenzó a desarrollar aspas hechas de tela resistente y flexible que podría reducir los costos entre un 25% y 40%. También se tiende hacia la fabricación automatizada de las aspas y de nuevo hacia los generadores tradicionales de inducción doblemente alimentados y unidades híbridas de velocidad media [REN21, 2013].

No obstante, los países consumidores de turbinas comenzaron a solicitar que se utilizaran materiales regionales en la construcción de los aerogeneradores, lo que generó conflictos comerciales e hizo que se construyeran fábricas cercanas a los mercados en expansión. Por su parte las compañías chinas crearon paquetes de diseño (que incluirían préstamos respaldados por el gobierno) para mercados emergentes y comenzaron a establecer filiales y asociaciones con empresas locales para expandirse. A su vez, los fabricantes se vieron más involucrados y de manera directa en el mantenimiento de las turbinas que vendían, incrementándoles rentabilidad a sus actividades comerciales [REN21, 2013].

## 2.1 DIAGNÓSTICO DE LA GENERACIÓN EÓLICA. GENERACIÓN SUSTENTABLE DE ELECTRICIDAD

Los 10 principales fabricantes de turbinas del mundo captaron en el 2013 cerca del 70% del mercado (menor que el 77% del 2012); la mayoría de ellos se encuentran en China, Dinamarca, Alemania, India, España, Estados Unidos y Japón, algunos componentes se suministran de muchos países. También se han establecido fabricantes en Brasil, en alianza con Francia y Corea del Sur. La marca danesa Vestas ha sido el mayor fabricante, recuperó el primer puesto frente a GE Wind de los Estados Unidos que por la crisis en el mercado cayó al quinto sitio. Goldwind de China escaló cuatro posiciones y se colocó en segundo lugar seguida de las alemanas Enercon y Siemens. Otros fabricantes destacados fueron la española Gamesa, Suzlon Group de la India, United Power y Mingyang, ambas de China y la alemana Nordex. Por otro lado, la situación económica mundial ha orillado a la creación de alianzas estratégicas, ejemplos de ello lo son las formadas por Mitsubishi (Japón) y Vestas; Areva (proveedor nuclear francés) y Gamesa que, de manera conjunta estarán desarrollando turbinas de mar [REN21, 2014].

La contracción del mercado provocó a finales de 2013 cambios en la industria europea; Bard y Fuhrlander (fabricantes alemanes) se declararon insolventes, por su parte Vestas hizo recorte del 30% de su persona; lo anterior aunado al crecimiento del mercado chino nacional de 28% en 2007 a un 93% en sólo 6 años. La situación no fue distinta en los Estados Unidos pues se cerraron fábricas y hubo despidos por la falta de pedidos de aerogeneradores; sin embargo, al final del año la capacidad de fabricación repuntó de manera



notable en 44 de los 50 estados. En la India, Suzlon cedió su posición superior por primera vez en una década debido al endeudamiento que sufría [REN21, 2014].

En 2012, más de 550 industrias fabricaban componentes de generadores eólicos; en los Estados Unidos a pesar de la incertidumbre política se incrementó considerablemente la producción durante la última década, esto redujo costos de transporte y generó empleos. Compañías como Vestas y la transportista SNCF Geodis (Francia) en Europa y Siemens en EEUU comenzaron la distribución de sus aspas por tren con el fin de disminuir los costos por transporte. En Europa, la actividad de la industria se centró cada vez más en las tecnologías marinas y el desarrollo de proyectos en Europa del Este y otros mercados emergentes. A finales de 2012, Brasil contaba con 11 plantas de fabricación y GE tenía una instalación en construcción, la India tenía 19 fabricantes con una capacidad de producción anual superior a 9.5 GW [REN21, 2014; REN21, 2013].

En 2013, GE lanzó paquetes de servicios de repotenciación y presentó una turbina de 2.5 MW con capacidad de almacenamiento de energía. La cantidad de turbinas sin engranajes o de transmisión directa aumentó de nuevo en el mercado (del 12% en 2008 al 28% en 2013), y se continuó con el desarrollo de diseños de turbinas a la medida para uso en alta mar [REN21, 2014].

Los fabricantes de generadores pequeños (<100 kW) se extendieron en 2013 por todo el mundo, ampliando sus redes de distribución y la creciente importancia de la certificación de los aerogeneradores. Muchos fabricantes y proveedores de servicios se encuentran concentrados en China, Norteamérica y en Europa. La crisis mundial provocó que durante el 2012 la industria india RRB Energy Ltd. reiniciara la producción de una turbina de 225 kW, descontinuada en 2005, para su exportación a los mercados emergentes de África y otros lugares, y que Gamesa incursionara en el desarrollo de proyectos eólicos distribuidos y locales [REN21, 2014; REN21, 2013].

La tecnología costa afuera está desplazándose hacia aguas más profundas y con turbinas de mayor capacidad, lo que conlleva a un mayor interés en el estudio de las plataformas flotantes. Ya hay varios países desarrollando programas piloto; por ejemplo, en 2012 Japón lanzó su primer aerogenerador (100 kW). En Europa, el tamaño promedio de las granjas eólicas costa afuera creció en 36% (271 MW) con respecto a 2011. Esta expansión generó una competencia entre la capacidad de fabricación y la de instalación, de manera que varios actores de la cadena de suministro (incluyendo los buques de instalación) estuvieron estrechamente relacionados con el fin de solventar la creciente demanda de insumos y financiamientos [REN21, 2013].

En 2012 existían 31 fabricantes que habían creado 38 nuevos modelos de turbinas costa afuera, siendo tres cuartas partes de éstas de 5 MW o mayores. La altura de las turbinas también ha aumentado, colocándoseles aspas más largas que logren capturar más energía: REpower erigió su turbina más alta, con una altura del rotor de 143 metros; Siemens creó las ‘aspas más largas del mundo’ con 75 metros de longitud [REN21, 2013].

El tamaño promedio de las turbinas instaladas en Europa costa afuera en 2013 fue de 4 MW, también se probaron máquinas de entre 5 y 8 MW en Europa y Asia; los principales fabricantes chinos están desarrollando turbinas de 10 MW o más, impulsados por las subvenciones del gobierno. Por su parte Japón puso a flote dos máquinas de 2 MW, con planes para comercializar la tecnología tan pronto como

sea posible, el Reino Unido hizo pruebas costa afuera. Japón y otros países quieren reducir costos y esperan que la energía eólica marina reactive los puertos e industrias relacionadas [REN21, 2014].

Los fabricantes ingleses, chinos, alemanes y surcoreanos han impulsado el desarrollo de buques de mayor tamaño y más sofisticados para desplegar turbinas en aguas más profundas y en condiciones climáticas más extremas y así expandir la industria. A la par, se requiere de buques más grandes para transportar cables submarinos de grandes dimensiones usados en proyectos marinos de mayor capacidad y más distantes. Estas tendencias han incrementado los precios en los últimos años [REN21, 2014].

La SENER, en su Prospectiva del sector eléctrico 2012-2026 señala que la generación eólica de electricidad se ha incrementado a nivel mundial de manera importante, en especial en Alemania, España y China [SENER, 2012b]. En este mismo documento se indica que la tasa de crecimiento promedio anual de la capacidad eólica mundial se ha incrementado en un 27.5%, pues pasó de 17,400 MW a 197,039 MW durante el período 2000-2010. Los países miembros de la OCDE tenían instalado el 76% de la capacidad eólica mundial y fueron los Estados Unidos los principales productores [SENER, 2013b]. Al 2012 la generación eólica tendría cerca de un 2% en la producción de electricidad a nivel mundial [SENER, 2014c].

En 2013 la IEA indicó que, a partir del año 2008 y hacia finales del 2012 se incrementó en más de dos veces la capacidad instalada total a nivel mundial, así como la generación eólica en ese mismo período (Tabla 2). Hacia finales del 2012 se había instalado una capacidad eólica anual cercana a los 45 GW en más de 50 países, con lo que la capacidad total tanto costa afuera como en tierra sumó 282 GW [IEA, 2013].

En la Tabla 2 se presentan datos de la International Energy Agency que muestran la generación eólica a nivel mundial hacia finales de los años 2008 y 2012.

Se puede observar que la capacidad de generación se incrementó en más del 231% en sólo 4 años. La capacidad instalada a nivel mundial mostró un incremento mayor al 160% y hubo un incremento en la inversión anual de 26 mil millones de dólares en todo el mundo. Por otra parte, se sumaron del año 2008 al 2012 siete países a la lista de aquellos con GW instalados; a los países con un mercado anual de 500 MW se sumaron cuatro, pasando de 10 en el 2008 a 14 en el año 2012. También, a nivel mundial la generación eólica creció en más de un 200% pues pasó de 254 TWh generados en el 2008 a 527 TWh a finales del 2012.

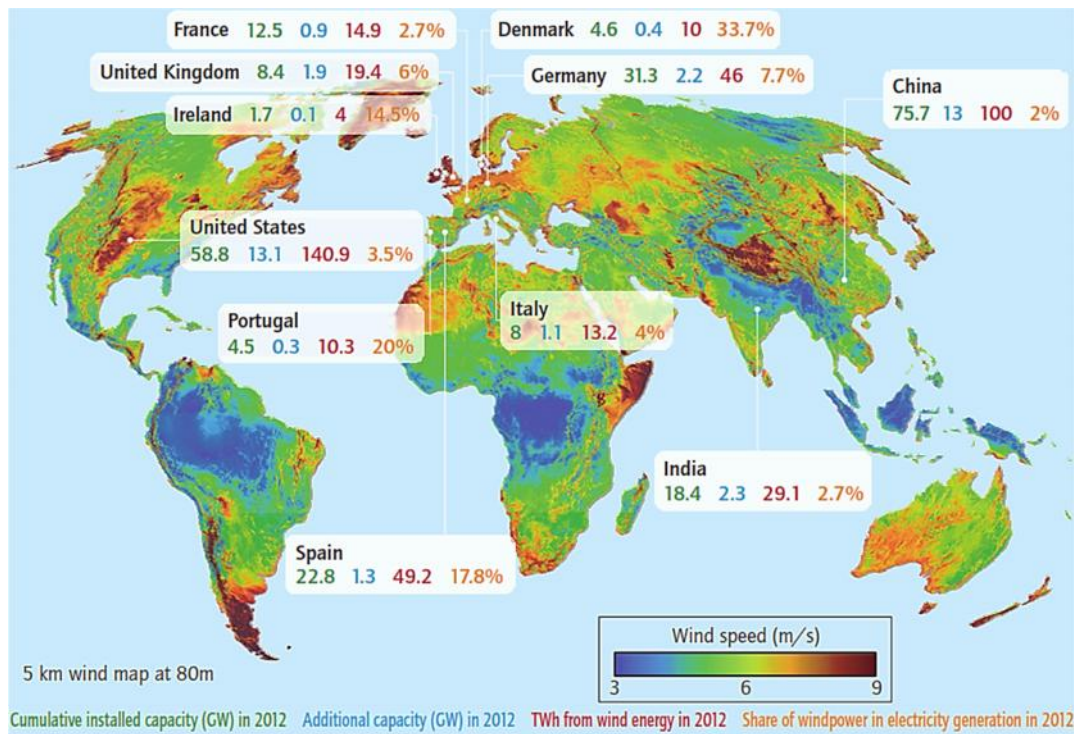
De manera global, el consumo anual de eoloelectricidad se incrementó cerca de dos veces del año 2008 al 2012 pues pasó de 1.3% a 2.5%, en Europa éste aumentó del 4% al 6% en ese mismo período. Se destaca a Dinamarca como el país con mayor consumo eólico (de 20% en 2008 a cerca del 30% en 2012); Portugal, España e Irlanda pasaron de un consumo anual del 9% en 2008 a un 20%, 17.8% y 14.5% a finales del 2012, respectivamente. El incremento en el consumo anual de eoloelectricidad de los Estados Unidos se vio incrementado, pasando de 1.9% a finales del año 2008 a 3.5% al año 2012. Por su parte, China también incrementó su consumo anual de ser menor al 1% en el 2008 a un 2% de consumo eoloeléctrico anual a finales del 2012.

**Tabla 2:** Progreso de la generación eólica desde el año 2008.

	Finales de 2008	Finales de 2012
Capacidad total instalada	122 GW	282 GW
Capacidad instalada anual	28 GW	45 GW
Inversión anual	52 mil millones USD	78 mil millones USD
# países con GW instalados	17	24
# países con 500 MW de mercado anual	10	14
Generación eólica durante el año	254 TWh	527 TWh
Niveles de penetración eólica	Consumo anual de electricidad (%)	
Mundial	1.3	2.5
Europa	4.0	6.0
De los cuales		
Dinamarca	20.0	29.9
Irlanda	9.0	14.5
Portugal	9.0	20.0
España	9.0	17.8
Estados Unidos	1.9	3.5
China	<1.0	2.0

Fuente: IEA, 2013.

En la Figura 3 se muestra la capacidad instalada total (GW), la capacidad adicional (GW), la generación (TWh) y la participación (%) que la generación eólica tuvo en los principales países del mundo durante el año 2012. Dinamarca fue el país con el mayor porcentaje de participación en la producción de electricidad.



Fuente: IEA, 2013.

**Figura 3.** Mapa eólico mundial, capacidad instalada y producción de los principales países.

En 2012, la granja eólica más grande de Europa en tierra (600 MW) se conectó a la red en Rumania, y la mayor granja eólica en EE.UU (845 MW) cubría la demanda de 235,000 hogares estadounidenses [REN 21, 2013].

Durante el 2013, se añadieron más de 35 GW de capacidad eólica, incrementando el total mundial por encima de 318 GW. No obstante estas cifras, en este año el mercado de la energía eólica se redujo en cerca de 10 GW respecto al 2012, principalmente en el mercado estadounidense. Fueron 10 países los que acumularon el 85% de la capacidad mundial al final del año pero el mercado sigue cambiando. Al finalizar el 2013, por lo menos 71 tenían más de 10 MW de la capacidad reportada al final del año y 24 tuvieron más de 1 GW en operación. La tasa promedio de crecimiento anual de la capacidad de generación eólica acumulada fue de 21.4% desde finales del 2008, mientras que la capacidad mundial se ha incrementado ocho veces en la última década [REN21, 2014].

En Asia se concentra el mayor mercado por sexto año consecutivo representando el 52% de la capacidad, la Unión Europea el 32% y Norteamérica menos del 8%. En los países no-OCDE se construyó la mayoría de las instalaciones y por primera vez América Latina participó con 4.5% de esta capacidad. China lideró el mercado seguida de Alemania, Reino Unido, India, Canadá, Estados Unidos, Brasil, Polonia, Suecia y Rumania. No obstante, se desarrollan nuevos mercados en África, Asia y Latinoamérica. [REN21, 2014].

También en 2013 China adicionó 16.1 GW de capacidad, con lo que incrementó su capacidad total instalada en un 21% a 91.4 GW. A finales de año tenía casi 75.5 GW en operación comercial con una generación eólica de 140.1 mil millones de kWh, superando por segundo año consecutivo a la generación nuclear [REN21, 2014].

La Unión Europea superó la meta de los 100 GW en 2012, añadiendo 11.9 GW de capacidad eólica, con lo que sumó más de 106 GW. Al año siguiente representó el 37% de la capacidad eólica acumulada a nivel mundial (Asia reportó poco más del 36%). La tecnología eólica constituyó el mayor porcentaje de la nueva capacidad de la UE (32%) con 11 GW añadidos, totalizando más de 117 GW. Europa está cambiando su mercado a la tecnología costa afuera, el cual ha crecido a un 34%. No obstante lo anterior, el mercado total se ha visto disminuido en un 8% con respecto al 2012 y el financiamiento de nuevos proyectos se ha visto mermado en respuesta a la incertidumbre política, así como a la disminución de incentivos [REN21, 2014].

En el año 2013, Alemania e Inglaterra concentraron 46% de las nuevas instalaciones de la UE (lo que no ocurría desde el 2007). Por su parte, Alemania se vio favorecida por las reformas en la *Renewable Energy Sources Act (EEG, Ley de Energías Renovables)*, con lo que siguió como el mercado más grande de Europa y logró una cifra récord de instalaciones. Integró a la red más de 3.2 GW (incluidos 0.2 GW por concepto de repotenciación); a final de año ya se habían conectado 34.3 GW a la red e instalado en total 34.7 GW. Alemania generó 53.4 TWh eólicos en 2013. Inglaterra añadió 1.9 GW a la red, 39% de los cuales fue de tecnología costa afuera, para un total de 10,5 GW a fin de año [REN21, 2014].

Polonia (0.9 GW), Suecia (0.7 GW), Rumania (0.7 GW) y Dinamarca (0.7 GW) fueron también de los principales mercados europeos en 2013; Francia (0.6 GW) e Italia (0.4 GW) tuvieron reducciones importantes. España se mantuvo en tercer lugar respecto a la capacidad acumulada; sin embargo, los cambios en la política han afectado al mercado y se tuvieron las adiciones más bajas (menos de 0.2 GW)

en 16 años. Las tasas de crecimiento más altas se observaron en Croacia (68%), Finlandia (56.3%), Rumanía (36.5%), Polonia (35.8%) y por primera vez Eslovenia añadió capacidad [REN21, 2014].

La India fue el cuarto mercado más grande en 2013, a pesar de que disminuyó 26% la demanda; se instalaron más de 1.7 GW para un total de 20.2 GW al final del año. Japón experimentó una desaceleración en la implementación de la tecnología principalmente por las nuevas exigencias regulatorias y retrasos en el acceso a la red, mientras que Tailandia y Pakistán duplicaron su capacidad. [REN21, 2014].

Canadá instaló 1.6 GW, incrementando su mercado en más de 70% logrando un total de 7.8 GW, encabezado por Ontario (2.5 GW) y Quebec (2.,4 GW). Los Estados Unidos finalizaron el 2013 con 61.6 GW, aumentando poco más de 1 GW (significativamente menor a los 13.1 GW instalados en 2012. Texas agregó a su capacidad total 12.4 GW, seguida de California (5.8 GW), Iowa (5.2 GW), Illinois (3.6 GW), y Oregon (3.2 GW) [REN21, 2014].

Por su parte, Brasil añadió más de 0.9 GW de capacidad (1.1 GW menos que en 2012), colocándose como séptimo de capacidad eólica recién instalada. Terminó el año con casi 3.5 GW de capacidad solicitada; de éstos, 2.2 GW se conectaron a la red o a operaciones comerciales. El interés en la energía eólica en Brasil está aumentando porque complementa la dependencia a la hidroenergía; al final del año, más de 10 GW de capacidad adicional estaban bajo contrato. Otras regiones que agregaron capacidad eólica incluyen Argentina, Chile y México [REN21, 2014].

Australia volvió a ser el único país del Pacífico que agregó capacidad eólica (0.7 GW), elevando su total a más de 3.2 GW. En Turquía, y haciendo frente a la fuerte dependencia al gas ruso, se instalaron 0.6 GW con lo que llegaron a un total de 3 GW (0.7 GW más que el año anterior). África y Oriente Medio incrementaron muy poco su potencia operativa más allá de Marruecos (0.2 GW) y Etiopía que completó el mayor parque eólico individual de África (120 MW), con el objetivo de mitigar el impacto de las estaciones secas en la producción nacional de hidroelectricidad. No obstante, otros países de la región avanzaron con nuevos proyectos y varios han anunciado planes a largo plazo. [REN21, 2014].

A finales del 2012, fueron 13 los países que operaban turbinas costa afuera agregando 1.3 GW; al año siguiente se adicionó la cifra récord de 1.6 GW de capacidad provenientes de 14 países alcanzando un total de 7 GW al final del año. Más del 93% de la capacidad total (1,567 MW) está fuera de Europa, sumando 6,562 MW en 11 países. Inglaterra tiene más del 52% de la capacidad mundial costa afuera, fue el mayor mercado (con 733 MW) en 2013, seguido en Europa por Dinamarca (350 MW), Alemania (595 MW totales y 240 MW conectados a la red) y Bélgica (192 MW). Cabe destacar que la situación económica y política en Alemania e Inglaterra ha propiciado la cancelación o la reducción del tamaño de los proyectos, por un lado debido a los costos y por otro por preocupación por la fauna. La capacidad restante en alta mar está en China, Japón y Corea del Sur; China agregó 39 MW con un total de casi 430 MW. [REN21, 2014].

Las instalaciones costa afuera y los productores independientes de energía continuaron siendo el principal mercado en términos de capacidad instalada durante el 2013. Sin embargo, existe un creciente interés en otros sectores. También aumentaron los proyectos eólicos comunitarios en Australia, Canadá, Japón, Estados Unidos, partes de Europa, y en otros lugares [REN21, 2014].

Por otro lado, el uso de turbinas individuales a pequeña escala es cada vez mayor en la electrificación rural, bombeo de agua, carga de baterías y en las telecomunicaciones. Se sabe que cerca de 806,000 turbinas de pequeña escala estaban en operación en 2012, logrando 678 MW (18% más que en 2011). Fueron China y Estados Unidos quienes contaban con la mayor capacidad (274 MW y 216 MW, respectivamente), seguidos por Inglaterra con 38 MW en el mismo año. No obstante, Alemania, Ucrania, Canadá, Italia, Polonia y España también contaban con turbinas de pequeña capacidad [REN21, 2014].

Los avances tecnológicos y la mejora en la eficiencia de los últimos años, han permitido la repotenciación de la capacidad eólica existente. Se han reemplazado los viejos aerogeneradores por un menor número de máquinas de mayores capacidades y dimensiones, más confiables y eficientes, con lo que se ha aumentado la producción, se satisface la demanda y se ha disminuido el ruido y la mortalidad de aves. Dinamarca y Alemania, gracias a la existencia de incentivos fiscales y debido a la edad de sus aerogeneradores, fueron los primeros países en llevar a cabo estas acciones. Durante 2013 se repotenciaron turbinas en Dinamarca, Finlandia y Japón; Alemania sustituyó 373 aerogeneradores con una capacidad combinada de 236 MW con 256 aerogeneradores que sumaron 726 MW. Cabe mencionar que hay un creciente mercado internacional de turbinas usadas en varias economías en desarrollo y emergentes [REN21, 2014].

La capacidad total de energía eólica a finales de 2012 era suficiente para cubrir cerca del 3% del consumo mundial de electricidad. En la UE, la capacidad eólica en operación a finales del 2013 era suficiente para cubrir el 8% del consumo de electricidad de la región en un año normal de viento (frente al 7% en 2012), pues fueron varios los países que durante el 2013 generaron un mayor porcentaje de electricidad con el viento respecto al año anterior, como España (20.9%, frente al 16,3%), Dinamarca (33.2% frente a los casi 30% en 2012); en el caso de Alemania, cuatro de sus estados tenían la capacidad eólica suficiente a fin de año para cumplir con el 50% de sus necesidades de electricidad. En los Estados Unidos, la energía eólica representó el 4.1% de la generación total de electricidad (con 3.5% en 2012) y cumplió con más de 12% de la demanda en nueve estados (frente a un 10% en el 2012), en Iowa con más de 27 % (25% en 2012) y Dakota del Sur con el 26% (24% en el 2012). La energía eólica representó el 2.6% de la generación eléctrica de China; mientras que, a nivel mundial la capacidad eólica a finales de 2013 era suficiente para satisfacer aproximadamente el 2.9% del consumo total de electricidad [REN21, 2014].

En 2013 GE tenía paquetes para mejorar la potencia de las turbinas, tanto individuales como en los parques eólicos y fabricó una turbina de 2.5 MW con la capacidad de almacenar energía. También en 2013 se continuó con la tendencia hacia turbinas de mayor tamaño, aumentado de 1.8 MW en 2012 a un tamaño promedio de 1.9 MW. El tamaño promedio de turbinas en Alemania fue de 2.7 MW, 1.8 MW en los Estados Unidos, 1.7 MW en China y de 1.3 MW en la India. La turbina de mayor tamaño disponible comercialmente de la tecnología en tierra fue la E-126 de Enercon, superior a los 7.6 MW [REN21, 2014].

Actualmente en España se experimenta con aerogeneradores sin aspas con forma de bates de baseball y, a decir de sus fabricantes, disminuye los costos de producción en un 53% y los de operación en un 51% comparado con una turbina eólica convencional. La turbina, fabricada con materiales piezoeléctricos<sup>4</sup> y fibra de vidrio o de carbono, opera a un mayor rango de velocidades de viento, no produce ruido y tiene un bajo centro de gravedad. Dicha tecnología se basa en la deformación que produce la vibración inducida por el viento al entrar en resonancia en el cilindro (aerogenerador) vertical, semirrígido y anclado en el

---

<sup>4</sup> Cristales capaces de polarizar eléctricamente su masa debido a las tensiones mecánicas, creando una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie.

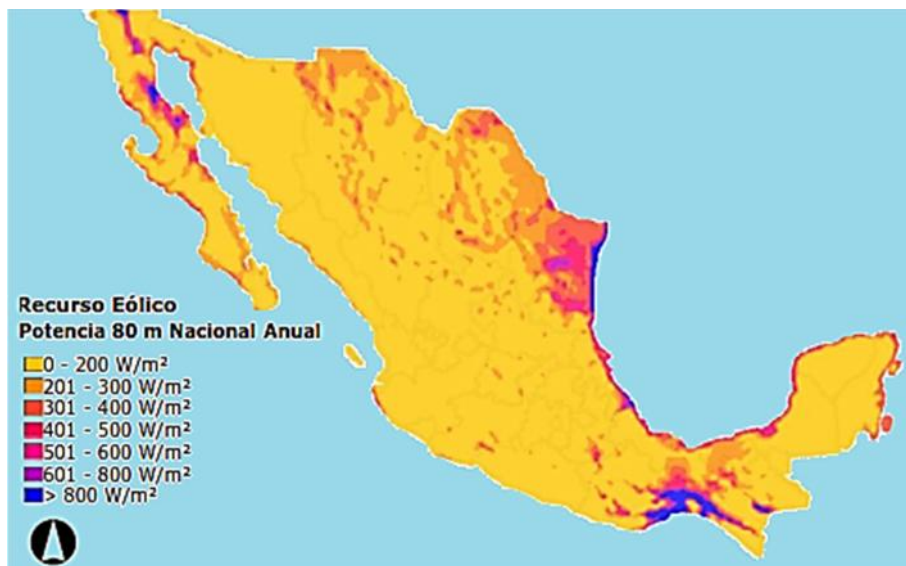
terreno. La energía eléctrica se genera por la deformación de los materiales piezoeléctricos [www.vortexbladeless.com, 2015; www.energias-renovables.com, 2015].

Por otro lado, en Francia se ha desarrollado el llamado ‘árbol de viento’, funciona con vientos pequeños (2 m/s), la potencia evaluada es 2.5 y 3.5 kWh y es silencioso. Consta de un tronco de acero y de ‘hojas’, en las que se encuentran colocadas unas miniturbinas. El árbol de viento es rentable con vientos medios anuales de 3.5 m/s, cabe mencionar que ya se han vendido en comunidades locales de Francia [REVE, 2014].

## 2.2 POTENCIAL EÓLICO EN MÉXICO

La capacidad total instalada de generación de energía eléctrica en México en 2013 fue de 64,456.3 MW, 54,034.8 MW fueron contribución del servicio público, 73.39% de los cuales (39,653 MW) provinieron de fuentes fósiles. Con fuentes renovables de energía, la capacidad instalada en ese mismo año fue de 12,982 MW (excluyendo la nuclear) [SENER, 2014c].

El gran potencial de generación eólica con el que México cuenta es el argumento que puede ser utilizado para buscar, en el corto plazo, responder a la creciente demanda de energía eléctrica de la sociedad. En los últimos años la generación de electricidad con este recurso se ha incrementado de manera importante, posicionándose como una de las principales tecnologías de generación de electricidad en México, por ello es necesario conocer las implicaciones que esta tecnología trae consigo. El mapa del potencial eólico de México se muestra en la Figura 4.



Fuente: <http://sag01.iie.org.mx/eolicosolar>, 2014.

**Figura 4.** Potencial eólico nacional.

Las zonas que cuentan con potencial eólico son: en el Istmo de Tehuantepec, en Oaxaca; La Rumorosa, en Baja California, así como en los estados de Zacatecas, Hidalgo, Veracruz, Sinaloa y la Península de Yucatán, entre otros. Según datos de la Asociación Mexicana de Energía Eólica, estas zonas tienen una capacidad de generación de hasta 10,000 MW [AMDEE, 2012; AMDEE, 2009]. Bajo el Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables, se planteaba que en el año 2012, la capacidad instalada con renovables alcanzara un 7.6% (sin contar proyectos hidroeléctricos con capacidad mayor a 30 MW, 4.34% corresponderían a la generación eólica y el 3.3% restante se distribuiría entre energía minihidráulica, geotérmica, así como en biomasa y biogás). En ese mismo año y con base en datos del Programa Especial de Cambio Climático, PECC, la Comisión Federal de Electricidad, indicó que aumentaría la generación eólica, evitando la emisión de 1.2 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente, con ello hacia el año 2050 se lograría reducir en un 50% la emisión de GEI (con respecto a las reportadas en el año 2000, teniéndose también un promedio global de emisiones per cápita de 2.8 toneladas de CO<sub>2eq</sub> para el mismo año), tomando en cuenta que se otorguen suficientes estímulos y apoyos internacionales [SENER, 2007; CICC, 2009; SENER, 2009a].

En los estados en los que se aprovecha la energía eólica son: Oaxaca, Baja California Sur y Yucatán. Actualmente se tiene una capacidad instalada de 86.75 MW entre las centrales eolícolas de La Venta, Guerrero Negro y Yuumil iik (generador de la COP 16). La Secretaría de Energía, SENER, indicó en la Prospectiva del Sector Eléctrico 2014-2018 que la generación eólica ha presentado una tasa media de crecimiento anual en el período 2003 al 2013 de 66.5%, siendo ésta la mayor registrada dentro de las fuentes renovables de energía [SENER, 2014c].

### 2.3 CAPACIDAD EÓLICA INSTALADA Y CAPACIDAD DE GENERACIÓN / VARIOS AÑOS

En los últimos años, la energía eólica en la generación de electricidad se ha venido incrementando, tratándose de una de las principales fuentes renovables de generación, por lo cual se ha permitido la participación del sector público y de particulares. Estados como Oaxaca y Baja California ya han trabajado en proyectos eólicos; fue en el año 2006 que se concibió un proyecto de puesta en operación de diversos parques eólicos que se conoció como ‘Temporada Abierta’ [SENER, 2007].

A finales de Marzo de 2007 se inauguró el parque eólico La Venta II-Juchitán, en Oaxaca, sin embargo, entró en operación comercial en Enero del mismo año; su construcción se inició en el 2005 y está constituido por 98 generadores que producen 83.3 MW [SENER, 2008; SENER, 2007]. Fue el primer proyecto en el país y también la primera central eólica a gran escala en América Latina. Este parque eólico integra el llamado ‘Proyecto de Desarrollo de Energías Renovables a Gran Escala’ [USAID, 2009]. La Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2011 indica que durante el año 2009 la reducción de toneladas de CO<sub>2eq</sub> por la puesta en operación de La Venta II fue cercana a las 150 mil [SENER, 2011b].

En el 2009 se inauguró en Baja California el parque eólico La Rumorosa I, que tiene una capacidad instalada de 10 MW y se estimaba que podría llegar a generar más de 27 millones de kWh al año, logrando abastecer de energía eléctrica a los municipios del estado y evitándose la generación de 17 mil toneladas de CO<sub>2</sub> al año [SENER, 2011b].



En Mayo de 2010 la CFE reportó la adición de 1.6 MW de capacidad instalada en el servicio público con el proyecto La Venta I y 83.3 MW en el proyecto La Venta II [SENER, 2014a]. En la Tabla 3 se muestran los proyectos privados de generación eólica que entraron en operación en el Estado de Oaxaca durante el 2010.

**Tabla 3:** Centrales eólicas privadas que entraron en operación en 2010.

Central	Capacidad (MW)
Eléctrica de Valle México	67.5
Eurus	250
Bii Nee Stipa Energía Eólica	26.35

**Fuente:** SENER, 2011b.

Del año 2000 al 2011 la generación eólica de electricidad pasó de 7.6 Gigawatts-hora (GWh) a cerca de 106 GWh siendo la tasa de crecimiento anual de 27.0% en dicho período; a finales del año 2011 ya operaban las centrales de la CFE de La Venta en Oaxaca (84.7 MW), Guerrero Negro en Baja California Sur (0.6MW) y el generador de la COP 16 (1.5 MW), incrementando un total de 86.8 MW a la capacidad de generación eoloeléctrica del servicio público [SENER, 2012c].

Al concluir el año 2011, la CRE dio 27 permisos de generación eólica como autoabastecimiento, exportación, pequeña producción y Productores Independientes de Energía (PIE), de los cuales únicamente siete entraron en funcionamiento durante ese año. La capacidad autorizada fue de cerca de 590 MW y la generación autorizada fue mayor a los 2,000 GWh al año.

En Oaxaca, durante el año 2012, entraron en operación 3 plantas de los PIE, asimismo 17 plantas estaban por iniciar obras o en construcción, con un total de 2,281 MW de capacidad autorizada, ubicadas en los estados de Baja California, Nuevo León, Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz [SENER, 2012c]. Las centrales eólicas Oaxaca I, II, III y IV, así como La Venta III bajo la modalidad de PIE iniciaron operaciones comerciales en ese mismo año [CFE, 2014]. En la Tabla 4 se presentan las características de estos proyectos de generación eólica de electricidad.

**Tabla 4:** Características de los proyectos de generación eólica de electricidad, 2012.

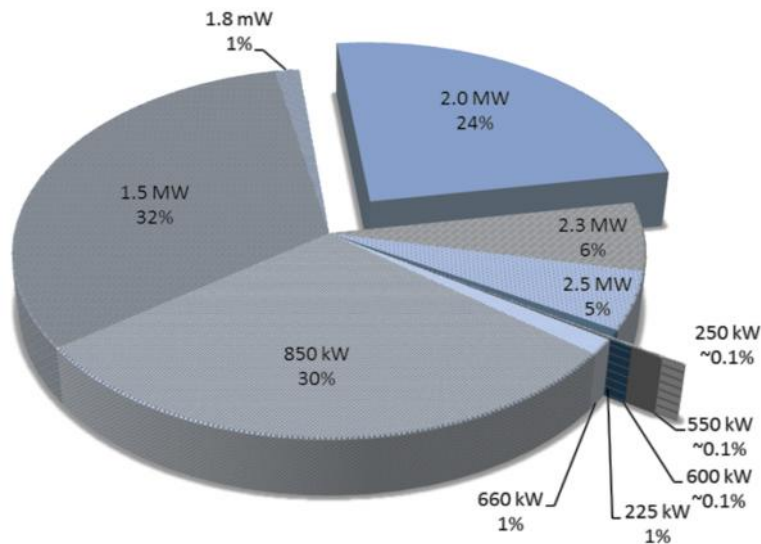
Nombre de la central	Entrada en operación	Unidades	Capacidad neta (MW)
Oaxaca III	I-2012	68	102.0
Oaxaca II	II-2012	68	102.0
Oaxaca IV y	III-2012	68	102.0
Oaxaca I	IX-2012	68	102.0
La Venta III	X-2012	68	102.9
<b>Total</b>		<b>340</b>	<b>511</b>

**Fuente:** SENER, 2013b; CFE, 2014.

Con la adición de estas centrales, la capacidad instalada durante la temporada abierta se incrementó mediante la figura de los PIE que, únicamente en el estado de Oaxaca adicionaron 510.9 MW de capacidad eólica y se sumaron a la red más de 1,550 GWh. Adicionalmente, los generadores independientes contribuyeron con cerca de 1,900 GWh, por su parte las centrales públicas contribuyeron con poco menos de 190 GWh. En total se alcanzó una producción de 3,643.80 GWh (121.1% más que en 2011) [SENER, 2013b; SENNER, 2013c].

Los permisos para estas cinco centrales eolieléctricas se otorgaron entre los años 1997 y 2012 por la CRE. Con estas acciones se logró incrementar la tasa de uso de energía eólica hasta cerca de un 70% en los últimos años en el período de 2002-2012 [SENER, 2013b], con lo que, finalmente, a Marzo de 2014 se reportó en fuentes internacionales, la existencia en México de 31 parques eólicos y una capacidad de producción superior a los 1,990 MW al final del 2013 [The wind power, 2014]. (En el *Anexo VI. Generación eólica de electricidad* se incluye información detallada procedente de bases de datos internacionales y nacionales).

Al final del año 2012 existían instaladas en México un total de 1,165 turbinas eólicas, con las que durante ese año la generación de electricidad fue de 427 MW. La distribución de las turbinas eólicas por capacidad y potencia nominal se muestra en la Figura 5.



**Fuente:** Elaboración propia con datos de SENER, 2013a; the wind power, 2013a y CFE, 2013b.

**Figura 5.** Turbinas eólicas instaladas en México según su capacidad y potencia nominal (%).

Al final del año 2013 estaban ya en operación 19 proyectos con una capacidad instalada de 1,551.30 MW (Tabla 5) y ya se encontraban en proceso de construcción o por iniciar obras 33 proyectos cuya capacidad total sería cercana a los 3,340 MW, lo que incrementaría la capacidad a unos 5,197.41 MW [SENER, 2014b].

Al 30 de Septiembre de 2014, la Comisión Reguladora de Energía presentó el total de permisos de generación eléctrica en las modalidades de pequeña producción, autoabastecimiento, producción para exportación, así como la de PIE y que fueron otorgados hasta entonces; en la Tabla 6 se muestran los

permisos de generación de energía eléctrica administrados, relativos únicamente a la generación eólica, los cuales representan una capacidad autorizada de 5,389.015 MW y una energía autorizada de 18,531.21 GWh al año [CRE, 2015].

**Tabla 5:** Permisos de generación de plantas eólicas al 2013.

Estado a Diciembre de 2013	Capacidad autorizada (MW)	Energía autorizada (GWh/año)	# plantas	Ubicación
En construcción y por iniciar obras	3,339.71	11,330.62	33	Baja California, Jalisco, Chiapas, Coahuila, Nuevo León, Oaxaca, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Yucatán y Veracruz
En operación en 2013	306.4	1,111.45	4	Jalisco, Oaxaca y Nuevo León
Entrada en operación hasta Diciembre 2013	1,551.30	5,565.59	19	Oaxaca, Chiapas, Jalisco y Baja California
<b>Total</b>	<b>5,197.41</b>	<b>18,007..66</b>	<b>56</b>	

**Fuente:** SENER, 2014b.

**Tabla 6:** Permisos de generación eólica de electricidad existentes al 30 de Septiembre de 2014, por ubicación.

Permisionario	Modalidad	Cap. autorizada (MW)	Energía autorizada (GWh/año)	Inicio operación	Estado actual
<b>Baja California</b>					
Municipio de Mexicali	Aut.	10	27.00	29/10/09	Operación
Energía Sierra Juárez, S. de R. L. de C. V.	Exp.	156	403.10	30/09/14	Construcción
MPG Rumorosa, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	72	220.75	19/12/13	Construcción
Wind power de México, S. A. de C. V.	Exp.	300.800	998	30/09/15	Construcción
Fuerza eólica de San Matías, S. A. de C. V.	Aut.	30.000	89.87	31/12/15	PIO
<b>Coahuila</b>					
Eólica de Coahuila, S. de R. L. de C. V.	Aut.	200.600	860.90	30/04/15	PIO
Operadora eólica mexicana, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	300	920	30/10/15	Construcción
<b>Chiapas</b>					
Eólica de Arriaga, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	28.80	92	05/06/12	Operación
Generadores eólicos de México, S. A. de C. V.	Aut.	19.965	61.82	30/11/14	Construcción
<b>Jalisco</b>					
Eólica Los Altos, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	50.40	170	01/12/13	Operación
<b>Nuevo León</b>					
Eólica Santa Catarina, S. de R. L. de C. V.	Aut.	22	45	01/06/13	Operación
Ventika, S. A. de C. V.	Aut.	126	330	31/12/15	Construcción
Ventika II, S. A. de C. V.	Aut.	126	330	31/12/15	Construcción
Energía y proyectos eólicos, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	50	153.00	28/02/15	Construcción

Permisionario	Modalidad	Cap. autorizada (MW)	Energía autorizada (GWh/año)	Inicio operación	Estado actual
<b>Oaxaca</b>					
Fuerza eólica del Istmo, S. A. de C. V.	Aut.	80	350	08/10/11	Operación
Eléctrica del Valle de México, S. de R. L. de C. V.	Aut.	67.5	365.16	01/04/10	Operación
Parques ecológicos de México, S. A. de C. V.	Aut.	101.9	312	31/01/09	Operación
Eoliatic del Istmo, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	164	642	01/07/13	Operación
Eurus, S. A. P. I. de C.V.	Aut.	250.500	883.73	30/06/09	Operación
Bii Nee Stipa energía eólica, S. A. de C. V.	Aut.	26.35	100.13	01/04/10	Operación
Instituto de Investigaciones Eléctricas	P.P.	5	21.90	01/07/10	Operación
Desarrollos eólicos mexicanos de Oaxaca 1, S. A. de C. V.	Aut.	90	333.02	01/11/12	Operación
Energías ambientales de Oaxaca, S. A. de C. V.	P.I.E.	102	410.00	26/09/12	Operación
Energías renovables Venta III, S. A. de C. V.	P.I.E.	102.850	288.00	03/10/12	Operación
CE Oaxaca dos, S. de R. L. de C. V.	P.I.E.	102	326.40	06/02/12	Operación
CE Oaxaca cuatro, S. de R. L. de C. V.	P.I.E.	102	326.40	05/03/12	Operación
CE Oaxaca tres, S. de R. L. de C. V.	P.I.E.	102	326.40	30/01/12	Operación
Stipa Nayaa, S. A. de C. V.	Aut.	74	292	01/07/12	Operación
Eólica Zopiloapan, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	70	254.45	01/01/13	Operación
Eoliatic del Pacífico, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	160	600	28/02/14	Operación
Fuerza y Energía Bii Hioxo, S. A. de C. V.	Aut.	234	700.68	01/09/14	Construcción
Energía Alterna Istmeña, S. de R. L. de C. V.	Aut.	215.650	943.60	31/12/14	Construcción
Energías renovables La Mata, S. A. P. I. de C. V.	P.I.E.	102	388	01/10/14	Construcción
PE ingenio, S. de R. L. de C. V.	Aut.	49.500	179.68	31/10/13	Construcción
Eólica El Retiro, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	74	231.39	01/05/14	Operación
Electrodesarrolladora Luz de Viento, S. de R. L. de C. V.	Exp.	30	114.44	30/09/15	Construcción
Energía eólica Mareña, S. A. de C. V.	Aut.	180	776	20/12/13	Construcción
Desarrollos eólicos mexicanos de Oaxaca 2, S. A. P. I. de C. V., Parque Eólico Piedra Larga fase 2	Aut.	137.500	508.75	01/09/14	Operación
Eólica Dos Arbolitos, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	70.000	218.89	01/12/14	Construcción
<b>Puebla</b>					
Pier II Quecholac Felipe Ángeles, S. A. de C. V.	Aut.	66	243.69	04/12/14	PIO
<b>San Luis Potosí</b>					
Dominica energía limpia, S. de R. L. de C. V.	Aut.	200	620	31/12/13	Construcción
<b>Sonora</b>					
Energía Sonora PPE, S. C.	P.P.	2	7.08	31/01/14	Construcción
<b>Tamaulipas</b>					
Compañía eólica de Tamaulipas, S. A. de C. V.	Aut.	54	213	01/03/14	Operación
Grupo soluciones en energías renovables SOE de México, S. A. de C. V.	Aut.	161	521.90	30/04/12	Construcción
Compañía eoloeleétrica de Ciudad Victoria, S. A. de C. V.	Aut.	50	175	30/09/14	PIO
Compañía eólica San Andrés, S. A. de C. V.	Aut.	26	92	30/09/14	PIO
Compañía eólica Praxedis, S. A. de C. V.	Aut.	58	198	30/09/15	PIO
Compañía eólica Vicente Guerrero, S. A. de C. V.	Aut.	60	204	30/09/15	PIO
Compañía eólica La Mesa, S. A. de C. V.	Aut.	28	98	30/09/14	PIO
Eólica Tres Mesas S. de R. L. de C. V.	Aut.	62.700	205	31/03/15	PIO
Eólica Tres Mesas 2 S. de R. L. de C. V.	Aut.	85.800	300.00	01/10/15	PIO

Permisionario	Modalidad	Cap. autorizada (MW)	Energía autorizada (GWh/año)	Inicio operación	Estado actual
<b>Veracruz</b>					
Fuerza viento Papaloapan, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	40	126	26/02/16	Construcción
<b>Yucatán</b>					
Eólica del Golfo 1, S. A. P. I. de C. V.	P.P.	29.250	94.80	31/03/15	PIO
Aldesa Energías Renovables de México, S. A. de C. V., Central Parque Eólico Chacabal	P.P.	30.000	114.96	28/02/16	PIO
Eólica del Golfo 1, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	40.950	132.70	31/03/15	Construcción
Aldener ADM, S.A. de C.V., Central Parque Eólico Chacabal II	P.P.	30.000	114.62	29/02/16	PIO
<b>Zacatecas</b>					
MPG LA Bufa, S. A. P. I. de C. V.	Aut.	180.000	476.00	31/12/15	Construcción

PP.: Pequeña producción; Aut.: autoabastecimiento; Exp.: exportación; P.I.E.: productor independiente. PIO: Por iniciar obra.

**Fuente:** CRE, 2015 (<http://www.cre.gob.mx/documento/1565.pdf>).

### 2.3.1 Producción actual de energía eólica

Con base en la información de la Prospectiva del sector eléctrico 2014-2028, durante el año 2013 el consumo nacional de energía eléctrica alcanzó los 236,419 GWh (1.0% más que en el 2012) y la energía eléctrica generada en 2013 sumó un total de 297,546 GWh (que incluye la participación privada), 87% fue proporcionado por el servicio público [SENER, 2014c].

La capacidad efectiva de generación de eolelectricidad en México se incrementó considerablemente desde el año 2007 y hasta el 2011 se mantuvo prácticamente constante (Tabla 7).

**Tabla 7:** Capacidad instalada efectiva de generación eólica en el país 2000-2013.

Año	MW	Año	MW
2000	2	2007	85
2001	2	2008	85
2002	2	2009	85
2003	2	2010	85
2004	2	2011	87
2005	2	2012*	598
2006	2	2013*	598

\* 511 MW corresponden a la capacidad instalada de los Productores Externos de Energía y 87 MW de la CFE.

**Fuente:** SENER, 2013b; SENER, 2013c, SIE-SENER, 2015; SENER, 2014c.

A finales del año 2006, la capacidad de generación eléctrica con energía eólica era insipiente. En la actualidad se cuenta con una capacidad superior a los 598 MW, instalados por la CFE y por privados [SENER, 2013c; SENER, 2014c].

Según el Sistema de Información Energética, la generación de energía eléctrica a partir del viento, a Marzo del 2014 fue de 2,077,000 MWh lo que representa el 0.08% del total de la generación de las centrales eléctricas [SIE-SENER, 2015]. En la Tabla 8 se muestran los datos anuales de generación eólica bruta de energía eléctrica en México en el período comprendido entre los años 2002 y a Marzo de 2015.

**Tabla 8:** Generación bruta de energía eólica en México, 2002-2015, MWh.

Año	MWh	Año	MWh
2002	6,666	2009	249,247
2003	5,374	2010	166,392
2004	6,147	2011	357,283
2005	4,999	2012	1,744,144
2006	44,803	2013	1,813,890
2007	248,432	2014	2,077,000
2008	254,613	2015	298,420*

\*Dato a Marzo de 2015.

**Fuente:** Sistema de Información Energética, SIE- SENER, 2015.

Como puede observarse en la Tabla 8, la generación bruta se ha estado incrementando de manera paulatina en los últimos años, reportándose el crecimiento más importante del año 2005 al 2006, pasando de cerca de 5 mil MWh a 44,803 MWh, respectivamente. Del año 2013 al 2014, la generación bruta se incrementó a poco más del 11% (263,110 MWh más).

## 2.4 PROSPECTIVA DE GENERACIÓN EÓLICA DE ELECTRICIDAD

Los diversos acontecimientos mundiales y locales han hecho necesario poner los ojos en las fuentes renovables de energía y por ello se han realizado estudios en los que se determinó el potencial de generación de electricidad. En documentos como las Prospectivas del Sector Eléctrico, el Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables, la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, la Iniciativa para el Desarrollo de las Energías Renovables en México y las Prospectivas de Energías Renovables se han descrito los resultados de estos estudios, las prácticas a seguir y la penetración de las fuentes renovables en la generación eléctrica dentro de la matriz energética.

Fue en el año de 2005 que la SENER, a través de Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico, solicitó a la CFE incluir cinco proyectos eolieléctricos, de 101.4 MW cada uno, dentro del Programa de Energías Renovables a Gran Escala (PERGE), en el marco del plan de expansión de la generación de electricidad [CFE, 2011].

### 2.4.1 Potencial de generación estimado en prospectivas oficiales

En la Prospectiva del sector eléctrico, 2009-2024, se menciona que la transición hacia fuentes renovables de energía se verá estimulada por el incremento en los precios del petróleo y el gas natural y a su agotamiento, de manera que con las políticas adecuadas se podría estimular más decididamente el uso de energías renovables y en particular, la energía eólica [SENER, 2009b]. Estos hechos presentan un interés particular, considerando también la posición de Francia con respecto a la nucleoelectricidad. Asimismo, es imprescindible conocer las condiciones bajo las cuales se incentiva la inversión extranjera para la construcción de campos eólicos (el 7 de Julio de 2011 se anunció que la empresa estadounidense Cannon Power Group invertiría 2,500 millones de dólares para construir tres parques eólicos en Zacatecas -180 MW-, Baja California -72 MW- y Quintana Roo -60 MW-; los cuales generarían, en conjunto, 312 MW), que, al parecer, resultan de poco interés para la inversión nacional (tanto pública como privada).

En la Estrategia Nacional de Energía 2013-2027, la SENER indica que en el año 2012 la eólica creció 1,500 MW y que en el país se cuenta con un potencial eólico mayor a 50,000 MW; sin embargo, estimó una capacidad eólica competitiva de 20,000 MW en los próximos ocho años, los cuales dependen de los precios del gas natural [SENER, 2013e]. También en su Prospectiva del Sector Eléctrico 2013-2027, prevé que para el año 2027 la CFE tendrá instalados en México más de 590 MW eólicos [SENER, 2013b].

Aunado a este poco interés por parte de los industriales mexicanos, se presenta la cuestión del origen de los componentes para la fabricación y construcción de las turbinas eólicas. En la mayoría de los casos (y dentro de los aspectos a analizar en los estudios del Ciclo de Vida) dichas componentes provienen de diversas regiones del mundo; representando incremento en las emisiones de gases contaminantes debido a la necesidad de transportar dichas piezas desde sitios remotos. Recuérdese que en distintos países maquiladores de turbinas eólicas existe ya la exigencia a las principales empresas de que en la fabricación de los aerogeneradores sean utilizados materiales de la región [REN 21, 2014].

Actualmente, el potencial eólico posible estimado según los criterios de elaboración del Inventario Nacional de Energías Renovables (INER) que la SENER desarrolló durante el 2013, es de 87,600 MW (con un potencial probable cercano a los 9,600 MW y un potencial probado de 9,789 MW). El potencial estimado de generación eoleoeléctrica considerando el factor de planta y el terreno disponible se muestra en la Tabla 9 [SENER, 2013d].

**Tabla 9:** Potencial eólico de generación de electricidad estimado.

Factor de planta (%)	% terreno	Capacidad instalable (MW)
20-25	56.7	40,268
25-30	27.5	19,535
30-35	8.4	5,961
>30	NR	11,000
35-40	3.5	2,500
>35	NR	5,235
>40	3.9	2,735

NR: No reportado

**Fuente:** SENER, 2012c y 2013d.

### 2.4.2 Global del país

En el Programa de Obras e Inversión del Sector Eléctrico (POISE) 2014-2028 se indica la evolución esperada de la capacidad bruta de los proyectos de autoabastecimiento de energía eléctrica mediante generación eólica en el llamado Programa de autoabastecimiento y cogeneración; dichos proyectos en el período 2013 al 2028 sumarán cerca de 7,000 MW de capacidad adicional, (ver *Anexo VI.iii. Evolución de la capacidad bruta de proyectos eólicos 2013-2028*) [CFE, 2014].

Las nuevas temporadas abiertas se concentran principalmente en los estados de Oaxaca, Tamaulipas y Baja California; cabe destacar que en el rubro autoabastecimiento remoto, según los datos de la Prospectiva del Sector Eléctrico, 2013-2027 es la energía eólica la de mayor crecimiento dentro de las otras energías renovables [SENER, 2013b].

### 2.4.3 Por regiones

En México se identifican cinco regiones estadísticas para el análisis del mercado eléctrico nacional; estas son la Noroeste, Noreste, Centro-Occidente, Centro y Sur-Sureste. Sin embargo, el desarrollo de proyectos eólicos se presenta primordialmente en las regiones Noroeste y Sur-Sureste. A nivel nacional, la región Sur-Sureste fue la que incrementó en mayor medida su capacidad de generación eléctrica, entre otros factores se encuentra, principalmente, la instalación de centrales eólicas (sin dejar de lado la instalación de centrales hidroeléctricas, una central carboeléctrica, y la capacidad de nueva generación limpia, asignada a las tecnologías que resulten de mayor conveniencia según las regulaciones vigentes). Cabe mencionar que esta región concentra la mayor gama de tecnologías de generación eléctrica en el país debido, en gran parte, a la disponibilidad de recursos naturales (renovables y fósiles) [SENER, 2010].

En el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico, 2011-2025 (POISE, 2011-2025) se informa que en Abril de 2010 entraron en operación comercial las centrales eólicas Eléctrica del Valle de México y Bii Nee Stipa, en el Istmo de Tehuantepec, con 67.5 MW y 26.4 MW de capacidad, respectivamente.

Durante los primeros meses del 2011 comenzó la operación de Eoliatic del Istmo con 21.3 MW y Oaxaca I. A partir del 2011, y hasta el 2014, entrarían en operación comercial los proyectos La Venta III así como la Temporada Abierta (TA) con 1,925 MW -autoabastecedores con 1,521 MW y los proyectos PIE Oaxaca II, III y IV y Sureste I (primera fase) con 404 MW-. A ello se sumarán 1,115 MW con los proyectos Sureste I (segunda fase), II, III y IV para el servicio público entre 2013 y 2016. Los proyectos Sureste I (segunda fase) y Sureste II tendrán una capacidad total de 507 MW [CFE, 2011].

### 2.4.4 Servicio público

El Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico, 2012-2026 (POISE, 2012-2026), considerando factores diversos como la demanda esperada de electricidad en el país, las fluctuaciones en los precios de



los combustibles fósiles, la necesidad de diversificación de la matriz energética, así como el compromiso internacional de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero en México, estableció la política energética de manera tal que 8,531 MW de los 44,532 MW de capacidad adicional de los próximos quince años en el servicio público se originarían en plantas hidroeléctricas, geotermoeléctricas, eololéctricas y solares, de éstos 7,000 MW provendrán de nuevas tecnologías de generación limpia [CFE, 2013a].

Se estimaron los costos de inversión de los proyectos eólicos a desarrollarse en el período 2012 al año 2026, de manera que habrá 1,115 terminados, en construcción o en proceso de licitación y 2,408 estarán en licitación futura, los cuales, en conjunto representan un total de 3,523 MW de capacidad adicional [CFE, 2013a].

El servicio público prevé solventar las necesidades eléctricas a través de proyectos eólicos que se desarrollarán durante el período 2014 al 2022 principalmente en los estados de Baja California, Oaxaca, Tamaulipas y el estado de Coahuila (que podrían ser desarrollados en colaboración con inversiones del sector privado).

En la Tabla 10 se indican dichos proyectos, su ubicación, el año de inicio de operación, así como la capacidad bruta de cada uno de éstos. Se puede observar que en el estado de Oaxaca se estarían ubicando los cuatro proyectos de mayor capacidad bruta (1,208 MW) y que en los años 2016 y 2020 no se tiene proyectada la construcción de proyectos eólicos de generación de electricidad.

**Tabla 10:** Requerimientos de capacidad adicional del servicio público, proyectos eólicos a desarrollar; 2014-2022.

Proyecto	Ubicación	Año de operación						
		Capacidad bruta (MW)						
		2014	2015	2017	2018	2019	2021	2022
Rumorosa I y II	Baja California	200						
Sureste III	Oaxaca		304					
Rumorosa III	Baja California		100					
Sureste IV	Oaxaca			304				
Tamaulipas I	Tamaulipas			200				
Sureste V	Oaxaca			300				
Tamaulipas II	Tamaulipas				200			
Sureste VI	Oaxaca				300			
Tamaulipas III	Tamaulipas					200		
Coahuila I	Coahuila						150	
Coahuila II	Coahuila							150
<b>Total anual</b>		<b>200</b>	<b>404</b>	<b>804</b>	<b>500</b>	<b>200</b>	<b>150</b>	<b>150</b>
<b>Acumulado</b>		<b>200</b>	<b>604</b>	<b>1,408</b>	<b>1,908</b>	<b>2,108</b>	<b>2,258</b>	<b>2,408</b>

**Fuente:** Elaboración propia con datos del POISE, 2012-2026, CFE, 2013a y POISE 2014-2028, CFE, 2014.

### 2.4.5 Inversión privada

En el año de 1992 fue publicada la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), en dicha Ley se permite la participación del sector privado en la generación de energía eléctrica, especialmente mediante autoabastecimiento, fomentándose así el uso sustentable de fuentes renovables de energía. Ocho años después se crea la figura de los productores independientes de energía que serían entidades que proporcionarían a la CFE la energía eléctrica que éstos producirían [CFE, 2013a].

La capacidad instalada por el sector privado supera los 500 kW. Situados en Oaxaca, con 79.9 MW del proyecto Parques Ecológicos de México en operación desde el 31 de Enero 2009, 250 MW del proyecto Eurus desde el 30 de Junio 2009 y 67.5 MW de Eléctrica del Valle de México desde el 01 de Abril 2010; en Baja California con 10 MW del Municipio de Mexicali desde el 29 de Octubre de 2009 [SENER, 2014a].

Los proyectos del sector privado ascienden a 1,557.45 MW, de los cuales 741.5 MW corresponden a la modalidad ‘autoabastecimiento’ del proyecto de Desarrollos Eólicos Mexicanos de Oaxaca con 228 MW que entró en operación el 18 de Octubre de 2011, 300 MW en la modalidad ‘exportación’ del proyecto Fuerza Eólica de Baja California en operación desde el 31 de Diciembre del 2011, 510.85 MW en la modalidad PIE, de La Venta III en Oaxaca con 102.85 MW que entró en operación el 30 de Junio del 2011 y 5 MW en la modalidad ‘Pequeño Productor’ del Instituto de Investigaciones Eléctricas en Oaxaca, en operación desde el 30 de Junio de 2010 [Comisión estatal de energía de Baja California, 2009; SENER, 2014a].

En el futuro y según lo calculado en la Prospectiva del Sector Eléctrico 2014-2028, en el período 2013-2028 se agregarán 4,591 MW eólicos; 103 MW provenientes de proyectos terminados, en construcción o en licitación, 1,688 MW por licitar y 2,800 MW en licitación futura. [SENER, 2014c].

## 2.5 CONCLUSIÓN

Las tendencias internacionales muestran una marcada inclinación hacia el uso de las energías alternativas en la generación de electricidad. Si bien los países mencionados como Alemania, España y China no cuentan con un potencial de generación eólico tan importante como México, es necesario seguir el ejemplo y explotar el recurso adoptando las tecnologías disponibles, mejorándolas para lograr una generación sustentable de electricidad que beneficie tanto al ambiente como a la economía del país.

Los países en los que se encuentran distribuidas las fábricas de aerogeneradores a lo largo de Europa han comenzado a exigir que los materiales con los que son elaborados sean adquiridos totalmente en sus mercados; en primera instancia, esto sumaría otra ventaja a la economía mexicana de implementarse tal medida.

Lo que resulta alentador es el notorio incremento en la proliferación de campos eólicos en México; con ello, la participación de las energías renovables dentro de la matriz energética del Sistema Eléctrico Nacional, también aumenta. Este hecho implica en el largo plazo, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero que son generadas por las tecnologías tradicionales de obtención de energía eléctrica.

Por otra parte, la necesidad de la diversificación de la matriz energética en el mediano y largo plazos denota la importancia de permitir la inversión privada en el desarrollo de los proyectos renovables. Como se ha mencionado en este capítulo, desde la década de los 90's del siglo pasado se han propuesto reformas al marco regulatorio con el objeto de abrir la participación del sector privado en la generación de energía eléctrica y mediante las cuales quede perfectamente definida la intervención del sector privado en las actividades energéticas del país. En el siguiente capítulo se realiza una breve descripción de las leyes que han sido modificadas con este fin.

---

---

### 3 MARCO REGULATORIO MEXICANO EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES. LA ENERGÍA EÓLICA.

#### INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía es tan extenso que ha sido necesaria la creación de una legislación específica y detallada de la explotación de los diferentes recursos, por ejemplo, respecto al recurso eólico. Si bien en México no se ha llegado a tal especialización regulatoria, desde hace varios años se comenzó a trabajar en la creación de un marco regulatorio en materia de aprovechamiento sustentable de las fuentes renovables de energía que prioriza la protección al ambiente.

En este capítulo se realiza una breve descripción de las modificaciones realizadas a los Artículos 25, 27 y 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, así como de aquellas regulaciones directamente relacionadas con la actividad de generación de energía eléctrica; es decir, de la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), de la Ley de la Industria Eléctrica y de la Ley de Inversión Extranjera. Posteriormente se indican las adaptaciones del marco regulatorio con el fin de ser más específico hacia la actividad de generación de electricidad, considerando el compromiso de disminución de emisiones de GEI: Ley General de Cambio Climático (LGCC) y la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Se describen tanto las acciones a seguir en el futuro en materia de generación de electricidad, contempladas tanto en el Plan Nacional de Desarrollo 2013, como en la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2013 y las consideraciones contenidas en la Reforma Energética del 2013. Finalmente se hace un breve resumen de las distintas medidas que han sido tomadas con el fin de fomentar el uso y la transición hacia fuentes renovables de generación eléctrica.

Las estrategias y objetivos se han planteado en el marco de la política energética de México en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 [PND, 2013], en la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2013 [ENCC, 2013], así como en la Ley General de Cambio Climático, en la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y Financiamiento de la Transición Energética y en la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía [DOF, 2008].

La actual política energética busca brindar seguridad energética mediante el uso de las fuentes de energía primaria presentes en el territorio nacional, por medio de una diversificación energética eficiente y económica logrando un desarrollo sustentable a través del aprovechamiento de la cantidad de recursos naturales con los que México cuenta.

Desde el año 2000 se busca la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en un 30% hacia el año 2020 y en un 50% al 2050. Para lograrlo, se planteó que un 35% de la generación de la energía eléctrica del año 2024 sea abastecida a partir de fuentes limpias -entendidas como aquellas fuentes de energía y procesos de generación eléctrica cuyas emisiones o residuos (de haberlos), sean menores a los establecidos en la legislación [CFE, 2015]-, meta que se desglosaría en la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y Financiamiento de la Transición Energética, así como en la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

Posteriormente, en el año 2008, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) anuncia la creación de la Máquina Eólica Mexicana (MEM), que sería el primer aerogenerador que se construiría con ingeniería nacional. Para ello el IIE creó alianzas con el Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ) así como con el Centro de investigación en Materiales Avanzados (CIMAV). El aerogenerador tiene una potencia nominal de 1.2 MW y un diámetro del rotor de 60 m [www.energias-renovables.com, 2015; González Galarza, et al., 2013].

Mediante este proyecto se busca generar el principal elemento en la cadena de valor del desarrollo eólico nacional: las unidades generadoras. El proyecto abarca el diseño, fabricación, instalación e instrumentación del prototipo en el Centro Regional de Tecnología Eólica (CERTe) para la ejecución de pruebas en viento libre. El aerogenerador logrará operar en condiciones de vientos intensos -como los de la región de La Ventosa, Oaxaca, de hasta 25 m/s [González Galarza, et al., 2013]-.

### 3.1 MARCO LEGAL EN MATERIA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y DE APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA.

En México, todas las Leyes y reglamentos existentes tienen su fundamento en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; en lo referente al sector eléctrico, su fundamento se encuentra en los Artículos 25, 27 y 28 constitucionales. De forma particular, el marco legal para la generación eléctrica a través de fuentes renovables de energía está integrado por la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) [DOF, 2013], la Ley de la Industria Eléctrica [CFE, 2015] y la Ley de Inversión Extranjera [DOF, 2014a] (Figura 6).



**Figura 6.** Marco legal en materia de generación eléctrica a través de fuentes renovables de energía.

Tanto la Ley de la Industria Eléctrica como la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética cuentan con sus propios reglamentos que se encargan de regular las leyes en materia de generación eléctrica de las que toman su nombre.

A continuación se hace un extracto de las leyes señaladas anteriormente y de las principales modificaciones que han sufrido; se ha dado mayor interés en lo tocante a la generación de energía eléctrica a partir de fuentes más limpias que contribuyan a la disminución del cambio climático. También se pone especial interés a aquellos artículos y párrafos de los reglamentos concernientes a la generación eólica de electricidad.

### 3.1.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Desde su promulgación, la Constitución ha sufrido diversas modificaciones en sus distintos Artículos. En esta sección se dará una breve revisión a los artículos 25, 27 y 28 (por ser éstos los de mayor relevancia dentro del sector eléctrico), así como a las modificaciones que han sufrido hasta finales del mes de Diciembre del año 2013 de relevancia en el sector eléctrico.

#### 3.1.1.1 Artículo 25

En la modificación del 5 de Junio de 2013 se establece que el Estado será el encargado de garantizar el desarrollo de la Nación de manera íntegra y sustentable. Posteriormente, el 20 de Diciembre se reforma el Artículo; en éste se indica que será exclusivamente el sector público el encargado de las áreas estratégicas *‘que se señalan en el Artículo 28, párrafo cuarto de la Constitución’*, por lo que permanecerá bajo tutela del gobierno federal tanto la propiedad como el control del Sistema Eléctrico Nacional, la transmisión y distribución de la energía, así como de la exploración y extracción de petróleo e hidrocarburos. Se dispone el apoyo e impulso a las empresas sociales y privadas que hagan uso de los recursos del país, sin desatender el cuidado y la conservación del ambiente.

Del mismo modo se entiende que *‘La Ley alentará y protegerá la actividad económica que realicen los particulares y proveerá las condiciones para que el desenvolvimiento del sector privado contribuya al desarrollo económico nacional, promoviendo la competitividad e implementando una política nacional para el desarrollo industrial sustentable que incluya vertientes sectoriales y regionales, en los términos que establece esta Constitución.’* [Instituto de Investigaciones Jurídicas, 2015].

#### 3.1.1.2 Artículo 27

El 10 de Enero de 1934 el Artículo 27 Constitucional expresaba que *‘La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada’*.

En la modificación del 20 de Diciembre de 2013 se especifica que la Nación es la que tiene el dominio directo sobre todos los recursos naturales, se describe el marco legal que regula a la industria eléctrica y se indica que ‘...la generación, transmisión, distribución y oferta de energía proporcionada como servicio público es atribución exclusiva del gobierno federal.’

La explotación, uso y aprovechamiento de los recursos por particulares o sociedades constituidas de acuerdo a las leyes mexicanas podrán llevarse a cabo a través de concesiones que el ejecutivo federal autorice, pero es competencia únicamente de la Nación las actividades de planeación, el control del Sistema Eléctrico Nacional, la transmisión y distribución de electricidad sin oportunidad de concesiones a terceros de participación en éstas. No obstante, el Estado podrá celebrar contratos con particulares en apego a las leyes establecidas, mismas que deberán indicar en qué actividades y cuál será la forma de participación. [Instituto de Investigaciones Jurídicas, 2015].

### 3.1.1.3 Artículo 28

El tenor del Artículo 28 constitucional es la prohibición de los monopolios y prácticas monopólicas. El 20 de Diciembre de 2013, el Artículo 28 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos sufre modificaciones, en las cuales se precisa que no se considerarán monopolios a aquellas actividades estratégicas que desarrolle el gobierno federal, siendo que los monopolios por sí mismos, están prohibidos en el territorio nacional. Se excluyen de esta definición las funciones exclusivas del Estado en áreas estratégicas como la generación nuclear de electricidad.

Asimismo se establece que ‘...El poder ejecutivo contará con los órganos reguladores coordinados en materia energética, denominados Comisión Nacional de Hidrocarburos y Comisión Reguladora de Energía, en los términos que determine la Ley.’ [Instituto de Investigaciones Jurídicas, 2015].

### 3.1.2 Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, LAERFTE

El 28 de Noviembre de 2008 se publica en el Diario Oficial de la Federación, DOF, la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, que consta de 31 Artículos principales y 12 transitorios; fue modificada por última ocasión en Junio de 2013. El objetivo de la Ley es regular el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía y las tecnologías limpias que se utilizarán en la generación de electricidad y establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética [DOF, 2013].

Sin embargo, se excluye de la legislación a la energía nuclear, la energía hidráulica (con capacidad de generación de más de 30 MW, salvo en los casos en los que sea utilizado un almacenamiento menor a 50,000 m<sup>3</sup> de agua, con un embalse menor a una hectárea de superficie sin que rebase tal capacidad de almacenamiento y se trate de embalses ya existentes, aunque sean de mayor capacidad, apenas capaces de generar electricidad, la incineración y los rellenos sanitarios que no cumplan con la normatividad ambiental [DOF, 2013].

El aprovechamiento de las energías renovables, el uso de las tecnologías limpias y la minimización del uso de combustibles fósiles como fuente primaria de energía se debe llevar a cabo tal y como se dicta en la Estrategia Nacional para la Transición Energética. Se hace también mención de las externalidades propias de un proyecto de generación, la forma en la que serán valoradas y las entidades que tendrán a su cargo la elaboración y evaluación de la metodología, así como las políticas a seguir [DOF, 2013].

El Artículo 18 establece que será el Sistema Eléctrico Nacional quien recibirá la electricidad producida con energías renovables excedentes de proyectos de autoabastecimiento o de cogeneración y que los generadores deberán acatar las condiciones de la CRE respecto a la conducción, transformación y entrega de la electricidad [DOF, 2013].

Los requisitos de los proyectos de generación de electricidad a partir de energías renovables con capacidad mayor a 2.5 MW se indican en el Artículo 21. Estos proyectos deben asegurar la participación de las comunidades locales y regionales, en los proyectos en el desarrollo social de la comunidad, se deberá pagar el arrendamiento a los propietarios de los predios o terrenos ocupados por el proyecto de energía renovable; también se deberá promover el desarrollo social en la comunidad, conforme a las mejores prácticas internacionales, considerando la normatividad aplicable en materia de desarrollo rural sustentable, protección del ambiente y derechos agrarios.' [DOF, 2013].

Como parte fundamental de esta Ley, la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía se define como el instrumento a través del cual se impulsarán políticas, programas, acciones y proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias. De igual modo, busca promover la eficiencia y sustentabilidad energética y disminuir la dependencia de México de los combustibles fósiles como fuente primaria de energía (Artículo 22) [DOF, 2013].

### **3.1.3 Ley de la Industria Eléctrica**

La Ley fue publicada en Agosto de 2014 a raíz de la Reforma Energética recientemente aceptada. Consta de 169 artículos que regulan la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, el Servicio Público de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica, así como las actividades de la industria eléctrica. Con ella se promoverá el desarrollo sustentable de la industria eléctrica, garantizando su operación a través del uso de Energías Limpias con el fin de lograr la reducción de emisiones contaminantes, y se fomentará la sustentabilidad, la expansión y la diversificación de la matriz energética de la industria eléctrica [CFE, 2015].

También se indica que la industria eléctrica estará conformada por las actividades de generación, transmisión, distribución y venta de electricidad, el control del SEN; que son actividades exclusivas del Estado la transmisión, distribución, la venta de electricidad y el control del SEN; siendo la Secretaría de Energía y la CRE las entidades encargada de vigilar y dar cumplimiento a la política y la regulación aplicable [CFE, 2015].



El Artículo 17 refiere que será necesario obtener un permiso de la CRE de generación de energía para las centrales eléctricas con capacidad mayor o igual a 0.5 MW.

En el Capítulo II de esta Ley (del Impacto Social y Desarrollo Sustentable) se hace énfasis en la necesidad de que los proyectos de generación se lleven a cabo de acuerdo a los principios de sustentabilidad, con respeto a los derechos humanos y el de las comunidades y pueblos de las regiones en los que se pretendan desarrollar, siendo la SENER la encargada de dar aviso al desarrollador de la existencia de grupos vulnerables en el área (artículos 117 y 118) y de realizar, junto con la Secretaría de Gobernación y las entidades correspondientes, una consulta para así proteger los intereses de las comunidades y pueblos que podrían verse afectados [CFE, 2015].

En lo referente a las Energías Limpias, la Ley en su Capítulo III, establece en el Artículo 121 el otorgamiento de Certificados de Energías Limpias (Título emitido por la CRE que acredita la producción de una determinada cantidad de electricidad a partir de Energías Limpias y que sirve para cumplir los requisitos asociados al consumo de los centros de carga) cuya obtención estará en función del total de la energía eléctrica consumida en los centros de carga. Se habla de los requisitos para la adquisición de Certificados de Energías Limpias a ser cumplidos durante los tres años posteriores a la emisión de éstos, pudiendo establecer requisitos para años adicionales posteriores, también que una vez establecidos los requisitos para un año futuro, no se reducirán. Estos certificados pueden ser negociables, como se indica en los artículos 122 y 125 de esta Ley [CFE, 2015].

Respecto de las emisiones, en el Artículo 129 se dice que será la Semarnat la que establecerá las obligaciones en cuanto a la reducción de emisiones contaminantes que se deberán cumplir en la industria eléctrica, ello ya sea por medio de Normas Oficiales Mexicanas u otros instrumentos o disposiciones aplicables [CFE, 2015].

### ***3.1.4 Ley de Inversión Extranjera***

La Ley de Inversión Extranjera se crea en 1998 con el objetivo vigilar la participación de la inversión extranjera en el país y propiciar que ésta contribuya al desarrollo nacional. También se define el porcentaje que las entidades extranjeras pueden aportar en los proyectos de aprovechamiento de los recursos nacionales (aprovechamiento que se encuentra directamente ligado a la obtención y uso de energéticos). En Agosto del 2014 sufre modificaciones que le permitirían adecuarse a las actuales condiciones del país [DOF, 2014a].

En el Artículo 5o de esta Ley se describen como actividades exclusivas del gobierno federal todo lo relativo al petróleo y demás hidrocarburos, así como la planeación y control del SEN, la transmisión y distribución de la electricidad [DOF, 2014a].

## 3.2 EVOLUCIÓN/CAMBIOS/EN MATERIA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y APROVECHAMIENTO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA.

La legislación en materia de aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en los últimos años ha ido evolucionando, de manera que tanto el tema ambiental como el energético se han ligado estrechamente desde la década de los 90's.

En los siguientes apartados se presenta una breve descripción de la Ley General de Cambio Climático, de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, con las principales modificaciones de las que han sido objeto; posteriormente se incluyen las últimas modificaciones que han sido efectuadas a la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, así como los principales objetivos del Plan Nacional de Desarrollo 2013 en materia energética pues se espera el incremento de la participación de las fuentes renovables de energía dentro de la matriz energética nacional en los próximos años. De igual modo se incluyen las principales acciones en materia de cambio climático que se han de llevar a cabo en los siguientes años y que se encuentran contenidas en la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2013. Finalmente, se presentan los objetivos para los que fue propuesta la Reforma Energética del 2013.

### 3.2.1 Ley General de Cambio Climático, LGCC

En el año 2012 se decreta la Ley General de Cambio Climático, en ella se contemplan temas como la protección al ambiente, el desarrollo sustentable, así como la preservación y restauración del equilibrio ecológico; con motivo de la Reforma Energética, esta Ley se modifica en Diciembre de 2014 [DOF, 2014b].

Con la LGCC se garantiza un ambiente sano a través de la elaboración y aplicación de políticas públicas de adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero. También se espera la reducción de la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos del cambio climático, así como lograr la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajo carbono [DOF, 2014b].

La LGCC regula actividades tales como la preservación, restauración, conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, la generación de energía, el comercio de emisiones y la promoción de la educación ambiental. Asimismo, se promoverá la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono [DOF, 2014b].

Se comienzan a fincar las bases de la política nacional de cambio climático, cuyos principios comprenden la sustentabilidad en el aprovechamiento y uso de los ecosistemas y recursos naturales, creación de acciones de mitigación y adaptación a los efectos adversos del cambio climático, implementación de acciones preventivas para evitar los daños al ambiente y preservar el equilibrio ecológico ante los efectos del cambio climático, patrones de producción y consumo en pro de una economía de bajo carbono [DOF, 2014b].

La LGCC resalta la necesidad de una colaboración entre gobierno, sociedad y sector privado que sea íntegra y transversal. Lo anterior para lograr una política nacional de cambio climático. También establece que quienes afecten el ambiente estarán obligados a prevenir, minimizar, mitigar, reparar, restaurar y, en última instancia, a la compensación de los daños que causen; ello a través del enfoque de responsabilidad ambiental. En este mismo sentido y a través de instrumentos económicos en la mitigación, adaptación y reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático se incentiva la protección, preservación y restauración del ambiente; el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales generando beneficios económicos a quienes los implementan [DOF, 2014b].

Se indica que es función de la federación elaborar la Estrategia Nacional y su Programa y vigilar, junto con la sociedad y los sectores público y privado, su cumplimiento. Deberá elaborar el Planeación Nacional de Desarrollo que incluya el desarrollo regional y urbano (Artículo 7o) y promover la educación y difusión de la información sobre CC en todos los niveles educativos y realizar campañas de educación e información para dar a conocer a la población la información disponible sobre las causas y los efectos de la variación del clima [DOF, 2014b].

Entre otras tareas de la federación destaca la colaboración con las entidades federativas en la instrumentación de sus programas para enfrentar al cambio climático mediante la asistencia técnica requerida y el desarrollo de estrategias, programas y proyectos integrales de mitigación y adaptación al cambio climático en materia de hidrocarburos y energía eléctrica, para lograr el uso eficiente y sustentable de los recursos energéticos fósiles y renovables del país, como dicta la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y la LAERFTE [DOF, 2014b].

En el Título Tercero de esta Ley se establece la creación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC, que según el Artículo 15 tendrá a su cargo la elaboración de proyectos de investigación con instituciones académicas, de investigación, públicas o privadas, nacionales o extranjeras en materia de cambio climático, protección al ambiente, preservación y restauración del equilibrio ecológico, colaborar en la elaboración de la política nacional en temas de equilibrio ecológico y protección del ambiente, realizar análisis prospectivos y apoyar en la elaboración de acciones tendientes al desarrollo sustentable, la estimación de los costos asociados y sus beneficios, principalmente. También el INECC tendrá que evaluar el cumplimiento de los objetivos de adaptación y mitigación, las metas y acciones contenidas de la Estrategia Nacional, el PECC y los programas de las entidades federativas [DOF, 2014b].

El INECC deberá participar en la promoción de la investigación científica y tecnológica en los temas relacionados con el cambio climático, el desarrollo sustentable y protección del ambiente, incluyendo economía, políticas ambientales, vulnerabilidad, mitigación, adaptación al cambio climático y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y ecosistemas [DOF, 2014b].

Dentro del Capítulo III (Mitigación) se indica que la política nacional que se ha de seguir, según el Artículo 32, ha de considerar el análisis del sector de generación de electricidad, incluyendo los costos de las externalidades sociales y ambientales, los costos de las emisiones por fuente de generación el establecimiento de metas de reducción de emisiones de GEI por sector industrial, la disponibilidad de los recursos financieros y tecnológicos, así como el análisis costo-beneficio de las distintas opciones de reducción de emisiones [DOF, 2014b].

En el Artículo 33 se indica que se promoverá la sustitución del uso y consumo de los combustibles fósiles por fuentes renovables de energía de manera gradual y la generación de electricidad con energías renovables, la eficiencia energética y el uso y desarrollo de tecnologías bajas en carbono, la cogeneración y el aprovechamiento de los residuos como fuente de energía como medio de mitigación de las emisiones contaminantes [DOF, 2014b].

Según el Artículo 34 las políticas y acciones de mitigación y reducción de emisiones estarán a cargo de administración pública federal, las Entidades Federativas y Municipios y van desde el fomento de la eficiencia energética, el uso de las energías renovables, hasta el uso de tecnologías de bajas emisiones de carbono en apego a la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía y la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento para la Transición Energética. Ya en el Artículo 35 se señala que se llevará a cabo el impulso a la transición energética en el sector eléctrico de combustibles fósiles a tecnologías de menores emisiones [DOF, 2014b].

Con base en el Artículo 62 es necesario realizar el estudio de las opciones de los programas y acciones que se llevarían a cabo con el fin de lograr esta transición energética. En esta Ley, por ejemplo, se establece el que los escenarios de línea base, las proyecciones de emisiones y las metas de la Estrategia Nacional se fijarán a diez, veinte y cuarenta años [DOF, 2014b].

### ***3.2.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, LGEEPA***

Esta Ley se crea con el fin de fomentar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la Nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable, la preservación del ambiente, un uso eficiente de los recursos y la prevención de la contaminación [DOF, 2015].

Las entidades encargadas de dar cumplimiento y vigilancia de los artículos, la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente contenidos en la LGEEPA son la Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios [DOF, 2015].

En la Fracción IV del Artículo 15 se especifica que los daños causados por cualquier obra o actividad que altere el ambiente se deberán prevenir, minimizar o reparar, y el responsable deberá hacerse cargo de los costos. Por otra parte, quien proteja el ambiente, promueva o realice acciones de mitigación y adaptación frente al cambio climático y aproveche de manera sustentable los recursos naturales podrá acceder a financiamientos diversos.

También, en el Artículo 22 se indica que serán prioritarias en la obtención de estímulos fiscales la investigación científica y tecnológica, incorporación, innovación o uso de mecanismos y tecnologías que signifiquen el control de la contaminación, del deterioro ambiental o el uso eficiente de la energía y los recursos naturales [DOF, 2015].

### 3.2.3 Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía

Se publica en el 2008 con el objeto de propiciar el aprovechamiento sustentable de la energía mediante un uso eficiente de la misma en todos sus procesos y actividades, desde su explotación hasta su consumo [DOF, 2008].

El Artículo 5 indica que para lograr lo planeado por la Ley se diseñarán y aplicarán programas de aprovechamiento sustentable de la energía, en los que estarán involucrados los distintos sectores de la población en general. Para ello se creará el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía que contendrá estrategias, objetivos, acciones y metas que permitirán lograr un uso eficiente de la energía durante su explotación, producción, transformación, distribución y consumo [DOF, 2008].

El Artículo 7 en una de sus fracciones indica que se busca propiciar la investigación científica y tecnológica en el aprovechamiento sustentable de la energía y la inclusión de estos temas en los programas de estudio en todos los niveles de enseñanza obligatorios. De igual modo, se promueve la formación de especialistas en aprovechamiento sustentable de energía [DOF, 2008].

Se crea la Comisión nacional para el uso eficiente de la energía, CONUEE, que se encargaría de promover la eficiencia energética y del aprovechamiento sustentable de la energía. Sus tareas principales serían propiciar el uso óptimo de la energía, desde su explotación hasta su consumo; formular y emitir las metodologías para la cuantificación de las emisiones de GEI debidas a la explotación, producción, transformación, distribución y consumo de energía, así como las emisiones evitadas por la incorporación de acciones para el aprovechamiento sustentable de la energía; generar las metodologías y procedimientos de cuantificación del uso de energéticos y determinar el valor económico del consumo y el de los procesos evitados derivados del aprovechamiento sustentable de la energía consumida; la creación o revisión de las NOM a fin de propiciar la eficiencia energética; proporcionar apoyo e información a los diferentes sectores en cuestión de uso y aprovechamiento sustentable de la energía, así como la difusión de la información que esta Comisión genere entre los sectores productivos, gubernamentales y sociales, entre otras [DOF, 2008].

Se crea el consejo Consultivo para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía que, entre otras funciones debe proponer mecanismos para la planeación, desarrollo y ejecución de los programas de eficiencia energética, promover la participación del sector privado en la aplicación de programas de aprovechamiento sustentable de la energía vinculando a la sociedad civil y el sector privado, instituciones académicas y del sector público, y la población en general. Se hace obligatorio para los organismos públicos o empresas del sector energético el incluir en sus recibos o facturas medidas que inviten a los consumidores a realizar un consumo eficiente relacionado con beneficios ambientales. Esto último es una medida novedosa que acerca a la población a conocer las implicaciones que tiene en el ambiente un uso eficiente de la electricidad [DOF, 2008].

### **3.2.4 Plan Nacional de Desarrollo, PND, 2013-2018**

En el Plan Nacional de Desarrollo, que contiene un total de 31 objetivos, 118 estrategias y 819 líneas de acción, se indican las políticas así como los programas que se llevarán a cabo entre el año 2013 y el 2018, logrando el desarrollo (económico) integral del país a través del aprovechamiento sustentable de sus recursos y no sólo de determinadas regiones. Tal desarrollo recae de manera transversal en todos los sectores de la población, de manera que se plantea la cooperación conjunta entre sociedad (instituciones educativas, sociedad civil), sector gubernamental y sector industrial. Se menciona que existen cinco puntos de principal interés para lograr transformar a México en un país con economía emergente: fortaleza institucional, desarrollo social, capital humano, igualdad de oportunidades y proyección internacional. En el documento nuevamente se establece el propósito de realizar acciones tendientes a contribuir a mitigar los grandes problemas mundiales [PND, 2013].

Se impulsa un crecimiento verde a través del cuidado del ambiente como parte de la estrategia que persigue la preservación del patrimonio natural. Se propone la existencia de incentivos económicos otorgados a empresas y a la sociedad que desarrollen actividades que contribuyan con el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales [PND, 2013].

También en este documento se señala la necesidad de disminuir la dependencia energética hacia los combustibles fósiles a través del impulso del uso de las fuentes de energía alternativas, ello con el consecuente fomento de la innovación y el desarrollo del mercado de tecnologías destinadas a la obtención eficiente de energía y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. El abastecimiento de energía mostrará '*precios competitivos, calidad y eficiencia a lo largo de la cadena productiva*', de tal modo que la estrategia a seguir es asegurar la disponibilidad de combustibles fósiles, fortalecer el suministro de electricidad y promover un consumo eficiente [PND, 2013].

Uno de los puntos principales del PND es el creciente interés en la obtención de electricidad a través de las fuentes renovables de energía por medio de la implementación de mejores prácticas y el uso de nuevas y mejores tecnología, de manera tal que el sector de la energía se verá beneficiado a través de las metas propuestas enfocadas a fomentar el desarrollo en ciencia y tecnología, en especial el sector eléctrico [PND, 2013].

Como se ha mencionado anteriormente, son varios los objetivos los que se describen en el Plan Nacional y cubren diversos aspectos de interés nacional; una estrategia fundamental en cuestión de seguridad nacional es salvaguardar a la población, a sus bienes y a su entorno ante un desastre, ya sea de origen natural o humano. Se habla de poner en práctica acciones de prevención mediante políticas transversales que hagan posible la minimización de los riesgos [PND, 2013].

### **3.2.5 Estrategia Nacional de Cambio Climático, ENCC, 2013.**

En la Estrategia Nacional de Cambio Climático se plantea contribuir a frenar el problema ambiental global mediante la conservación y el uso sustentable del capital natural. De tal suerte que, en el contexto de la generación de energía eléctrica a través de fuentes más limpias la energía eólica, la geotérmica, la

hidráulica y mini hidráulica, la biomasa y la energía solar son fuentes renovables de energía apropiadas para su aprovechamiento debido a su gran potencial, en apego a lo establecido a nivel internacional por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático respecto a la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias peligrosas del hombre en el clima. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para que los ecosistemas se adapten naturalmente al CC, que la producción de alimentos no se vea amenazada y que permita el desarrollo económico sustentable [ENCC, 2013].

La ENCC surge como un instrumento de planeación de la LGCC y al igual que esta última, tiene los siguientes principios:

- Sustentabilidad en el aprovechamiento y uso de los ecosistemas y recursos naturales
- Corresponsabilidad entre el Estado y la sociedad
- Precaución ante la incertidumbre
- Prevención de los daños al ambiente y preservación del equilibrio ecológico
- Adopción de patrones de producción y consumo sustentables
- Integralidad y transversalidad entre órdenes de gobierno, sectores social, público y privado
- Participación ciudadana efectiva
- Responsabilidad ambiental
- Transparencia, acceso a la información y a la justicia
- Compromiso con la economía y el desarrollo económico sin vulnerar la competitividad frente a los mercados internacionales

En este punto la Estrategia Nacional de Cambio Climático es pues el instrumento de política nacional que en el mediano y largo plazo será la base para enfrentar los efectos del cambio climático y lograr una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono. Como instrumento rector, describe los ejes estratégicos y líneas de acción a seguir con base en la información disponible del entorno presente y futuro, con los que se orientarán las políticas de los tres órdenes de gobierno [ENCC, 2013].

Dentro de la ENCC se mencionan tres temas principales a considerar:

- 1) Pilares de política nacional de cambio climático
- 2) Adaptación a los efectos del cambio climático
- 3) Desarrollo bajo en emisiones/Mitigación

Son seis puntos de política nacional de cambio climático, tres puntos en el tema de adaptación y cinco estrategias de mitigación. En general, los rubros que se cubren en la ENCC son: Sociedad/población, Ecosistemas (agua, bosques, biodiversidad), Energía, Emisiones, Sistemas productivos, Sector privado/industria y Movilidad [ENCC, 2013].

Según la ENCC, en los siguientes 10 años se promoverían tecnologías de bajas o nulas emisiones atmosféricas integradas al desarrollo productivo nacional, esquemas que incentiven el uso de energías no contaminantes donde el 35% de la generación eléctrica provenga de fuentes limpias, no sólo en el sector público sino también en el sector privado y en la industria. Se vislumbra la generación de patentes en el desarrollo de tecnologías de producción limpia de energía impulsando la investigación, el desarrollo y la adecuación de tecnologías avanzadas de generación de energía renovable y limpia en México como: oceánica, termosolar, hidrógeno, bioenergéticos; de manera que la transición energética hacia estas fuentes

se vería acelerada. Respecto al recurso eólico, se fomentará la generación de energía eoloeléctrica y se aprovechará su potencial terrestre y marino para asegurar la compatibilidad tecnológica, social y ambiental [ENCC, 2013].

### **3.2.6 Reforma Energética, RE, del 2013**

La premisa de la propuesta de Reforma Energética se sustenta en que es necesario lograr el aprovechamiento sustentable de los recursos (naturales) de la Nación en cuanto a generación de energía se refiere, de esta manera se haría posible que la electricidad llegue a todos los sectores de la población, incluidos aquellos situados en regiones remotas.

Con el fin de lograrlo, diferentes son las acciones que se incluían en la propuesta de Reforma Energética, ésta tenía como ejes estratégicos el fortalecimiento del papel del Estado como rector de la industria petrolera, el crecimiento económico mediante el aprovechamiento de sus recursos energéticos, un desarrollo incluyente mediante el acceso a la energía a la población en las distintas regiones del país, seguridad energética mediante una producción sustentable, transparencia en la administración del patrimonio energético nacional y, la sustentabilidad y protección del ambiente debido al uso de fuentes de generación de energía más limpias [PR, 2013a; PR, 2013b; PR, 2013c].

Las propuestas que conciernen a la energía eléctrica se basan en lo que llaman la erradicación de la pobreza energética, indispensable para lograr el desarrollo humano. Por ello, se hace prioridad dentro de la política energética el acceso universal a la energía eléctrica [PR, 2013a; PR, 2013b; PR, 2013c].

Parte fundamental de lograr la seguridad energética se centra en la manera en que se han de utilizar de manera eficiente y sustentable los recursos de la Nación; esto es, en el caso de la generación de electricidad, aprovechar el potencial renovable evitando la quema de combustibles fósiles. Las fuentes renovables de energía seleccionadas que serían apropiadas para su aprovechamiento debido a su gran potencial en particular son la energía eólica, la geotérmica, la hidráulica y mini hidráulica, la biomasa y la energía solar. La Reforma Energética permitiría el desarrollo de nuevos proyectos de generación eléctrica basados en programas de producción eficiente, limpia y económica [PR, 2013a; PR, 2013b; PR, 2013c].

Los objetivos fundamentales de la Reforma Energética del 2013 fueron los siguientes [PR, 2013a]:

- Mantener la propiedad de la Nación sobre los hidrocarburos que se encuentran en el subsuelo.
- Modernizar y fortalecer, sin privatizar, a Pemex y a la CFE como empresas productivas del Estado 100% mexicanas.
- Permitir que la Nación ejerza de manera exclusiva la planeación y control del Sistema Eléctrico Nacional, en beneficio de un sistema competitivo que permita reducir los precios de la luz.
- Contar con un mayor abasto de energéticos a mejores precios.
- Garantizar estándares internacionales de eficiencia, transparencia y rendición de cuentas.
- Combatir de manera efectiva la corrupción en el sector energético.
- Fortalecer el ahorro de largo plazo a través de la creación del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo, en beneficio de las generaciones futuras.
- Impulsar el desarrollo con responsabilidad social y protegiendo al medio ambiente.



- Atraer inversión al sector energético mexicano para impulsar el desarrollo del país.
- Reducir los riesgos financieros, geológicos y ambientales en las actividades de exploración y extracción de petróleo y gas.

Se justifica que el cumplimiento de los objetivos anteriores traería al grueso de la población mexicana beneficios como reducción de las tarifas eléctricas, baja del costo del gas y de los alimentos, tasas de restitución de reservas probadas de petróleo y gas superiores a 100%, incremento en la producción de petróleo de 2.5 millones de barriles diarios que se producen actualmente, a 3 millones de barriles en 2018 y a 3.5 millones en 2025, incremento en la producción de gas natural de 5 mil 700 millones de pies cúbicos diarios que se producen actualmente a 8 mil millones en 2018 y a 10 mil 400 millones en 2025, crecimiento económico cerca de un punto porcentual más en 2018 y aproximadamente 2 puntos porcentuales más para 2025 y, medio millón de empleos adicionales en este sexenio y 2 millones y medio de empleos más hacia 2025 [PR, 2013a; PR, 2013b; PR, 2013c].

Respecto de la energía eléctrica únicamente, en el inciso iv) *Nuevo modelo de generación, transmisión, distribución y comercialización* del apartado II denominado *Abasto de energéticos a precios competitivos*, se menciona que el sector eléctrico tiene varios puntos débiles, uno de ellos es el precio elevado de la electricidad haciéndolo poco competitivo. Otra desventaja es que más de un 20% de la energía generada para el servicio público se obtiene a partir de combustóleo y diésel, cuyos costos son elevados y ha de agregarse la cantidad de gases contaminantes emitidos a la atmosfera.

La problemática se agravaba debido a que hasta hace algunos meses era la CFE la única entidad encargada del suministro de electricidad al servicio público; sin embargo, las modificaciones constitucionales y regulatorias aprobadas en días anteriores permiten ya la participación de los particulares, lo que es un incentivo a la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables a bajo costo [PR, 2013a].

No obstante, aunado a la diversificación de la matriz energética se encuentra la necesidad de modernizar y expandir la red de transmisión a la par al crecimiento de la demanda eléctrica del país, incluyendo las regiones con alto potencial de generación a partir de fuentes limpias<sup>5</sup> [PR, 2013a; PR, 2013b; PR, 2013c].

Este documento resalta que las modificaciones propuestas al Artículo 27 Constitucional, que indica que tanto la *‘planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, así como la transmisión y distribución de energía eléctrica corresponden exclusivamente a la Nación.’* No obstante *‘se permite que el Estado celebre contratos con particulares para que, por cuenta de la Nación, lleven a cabo el financiamiento, mantenimiento, gestión, operación y ampliación de la infraestructura necesaria para prestar el servicio público de transmisión y distribución de energía eléctrica.’* [PR, 2013a].

En el Artículo 28 reformado se entenderá que *‘la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de electricidad son áreas exclusivas del Estado. Se reafirma el control del Estado sobre el sistema eléctrico como una actividad toral de la Nación para*

---

<sup>5</sup> La explicación a la RE 2013 indica que *“En relación con la red de distribución, hoy en día se registran ineficiencias significativas en la operación. En este segmento, las pérdidas de energía en México son casi el doble del promedio de los países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Incluyendo las pérdidas del proceso de facturación y cobro, más de 21% de la energía producida por la CFE no se cobra. Ninguna empresa de energía eléctrica en el mundo puede sostener la pérdida de 21% de su producción sin reportar problemas financieros”* [PR, 2013a].

*beneficio de los mexicanos.* Respecto a la participación de la inversión privada en el sector, ésta debe hacerse en conjunto con la de la CFE; con ésto se podrán *‘construir nuevas plantas, modernizar la base de generación e incrementar su competitividad.’* [PR, 2013a].

Según la RE 2013 la actividad de la CFE será de mayor conveniencia a la Nación. Se podrán celebrar contratos entre particulares y la CFE para el mantenimiento, la expansión y la operación del servicio público de transmisión y distribución de electricidad, aprovechando la tecnología y la experiencia en la reducción de los costos de operación y las pérdidas de energía [PR, 2013a].

Una de los argumentos de la Reforma Energética fue que se lograría minimizar el costo de la energía eléctrica ya que éste depende del combustible utilizado en su generación. Indica que el gas natural representa un menor costo y menores emisiones al ambiente que el combustóleo y el diésel, siendo estos últimos los de mayor uso en la actualidad [PR, 2013a; PR, 2013b; PR, 2013c].

La sección IV de Seguridad, sustentabilidad, compromiso con el ambiente, uso de tecnologías y combustibles más limpios hace un análisis del sector eléctrico; una de las conclusiones es que la generación con energías limpias no suele ser la opción más adecuada en el desarrollo de nuevos proyectos ya que los mayores potenciales generalmente se encuentran en áreas retiradas del país y aún presentan riesgos y retos de desarrollo y operación. Entonces, se hace necesario el uso de energías limpias con las que es posible minimizar el impacto ambiental negativo que está fuertemente ligado con la producción de electricidad a base de combustibles fósiles [PR, 2013a].

El tema de la sustentabilidad adquiere en este texto suma importancia, avalado por la Constitución, de manera tal que se transforma en uno de los criterios bajo los cuales se estará apoyando a las empresas de los sectores social y privado. De esta manera se promueve también la competitividad y una política nacional para el desarrollo industrial sustentable. [PR, 2013a; PR, 2013b; PR, 2013c].

Las actividades de generación de electricidad deben ahora cumplir con nuevas leyes que integren a participantes públicos y privados en el uso eficiente de la energía y los recursos naturales, la disminución en la generación de GEI, la disminución en la generación de residuos, emisiones y de la huella de carbono en todos sus procesos. En el sector eléctrico habrá obligaciones de uso de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes, permitiendo que las metas del sector se cumplan en los períodos establecidos [PR, 2013a].

La protección al ambiente dentro de la generación de energía ha hecho posible que se plantee la generación de energía a partir de fuentes renovables, impulsando su uso. Por tanto, se impedirá el deterioro ambiental causado por el desarrollo de la industria eléctrica, anteponiendo su protección al desarrollo económico en un marco de sustentabilidad [PR, 2013a; PR, 2013b; PR, 2013c].

Finalmente, se decreta la Reforma Energética y en lo concerniente a la industria eléctrica se indica el período en el que deberá crearse el Centro Nacional de Control de Energía, CENACE, como organismo público descentralizado encargado del control operativo del SEN, de operar el mercado eléctrico mayorista y del acceso abierto y no indebidamente discriminatorio a la red nacional de transmisión y las redes generales de distribución. Dentro del Decreto de la Reforma Energética se menciona que se ha de

incluir en el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía una estrategia de transición para promover el uso de tecnologías y combustibles más limpios [PR, 2013b; PR, 2013c].

### **3.3 INSTRUMENTOS QUE FOMENTAN LA PARTICIPACIÓN DE LAS FUENTES RENOVABLES EN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA**

Se ha visto que dentro de los principales problemas que evitan la proliferación de la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables se encuentra el mayor costo que representan frente a las tecnologías tradicionales a base de combustibles fósiles; sin embargo, el costo ambiental es mínimo en comparación. Es conveniente ver las eventualidades como un todo y evitar centrarse únicamente en el costo económico de las tecnologías; un cambio gradual de la generación fósil a la de energías renovables limpias además de los beneficios económicos, también representa beneficios a la salud, al ambiente por el decremento de las emisiones de GEI y material particulado, así como el incremento en el nivel de vida de la población, por mencionar algunos. También se debe considerar la experiencia internacional en la que los costos de las tecnologías renovables han bajado, la eficiencia se ha incrementado y su uso ha sido, incluso, subvencionado por los gobiernos.

Ya en México existen fondos y programas de apoyo al uso de las fuentes renovables; no obstante, éstos se han enfocado en proyectos de gran capacidad o de inversionistas privados olvidando que la necesidad de energía eléctrica se presenta en poblaciones remotas, lejos de la red eléctrica de la CFE y para las que la construcción de una planta de generación eléctrica suele estar lejos de sus posibilidades económicas.

Pero, la capacidad de generación se estaría incrementando con el paso del tiempo, de acuerdo a la penetración de las fuentes renovables en la matriz energética, como consecuencia la capacidad de transmisión del Sistema Eléctrico Nacional debería incrementar en proporción pues es éste el freno físico a la expansión, no sólo de la generación eólica, sino del resto de las renovables. A continuación se presentan las medidas que han sido tomadas con el fin de incrementar el uso de las energías renovables en la generación de electricidad.

#### **3.3.1 Ley del impuesto sobre la renta.**

Fue modificada en 2004; con respecto a la mitigación del cambio climático y la disminución de emisiones contaminantes, con esta Ley se permite que 100% de las inversiones en maquinaria y equipo utilizados en la generación de energía proveniente de fuentes renovables o de sistemas de cogeneración de electricidad eficiente se deduzca de la inversión en un sólo ejercicio y con el fin de evitar que tales inversiones se realicen sólo por reducir la base gravable del impuesto, se contempla como obligación que la maquinaria y equipo que se adquiera se mantenga en operación, como mínimo por cinco años [SHCP, 2014; USAID, 2009].

### 3.3.2 Incentivos fiscales

#### 3.3.2.1 Arancel cero

Se trata de un incentivo fiscal que exenta del pago de impuesto general de importación o de exportación a equipos anticontaminantes y sus partes: maquinaria, equipo, instrumentos, materiales y demás artículos utilizados en la investigación y el desarrollo tecnológico [PROMÉXICO, 2014b].

#### 3.3.2.2 Depreciación acelerada de inversiones en activos fijos para generación de energía proveniente de fuentes renovables

Con esta medida se busca fomentar el uso de las fuentes renovables en la generación eléctrica ya que permite la depreciación del 100% de las inversiones en equipo y maquinaria [PROMÉXICO, 2014b].

#### 3.3.2.3 Impuesto al carbono

En Enero del 2014 se introduce en México un impuesto a los combustibles fósiles según su contenido de carbono. Con ello se fomenta el uso de fuentes más limpias de generación de energía. Se aplicarán compensaciones en el pago de impuestos de proyectos de mitigación y un mercado mexicano de carbono [Banco Mundial, 2014; IGS, 2014].

Los siguientes son incentivos otorgados por la Comisión Reguladora de Energía, la Comisión Federal de Electricidad y la Secretaría de Energía [PROMÉXICO, 2014b; PROMÉXICO, 2013b].

#### 3.3.2.4 Tarifa preferencial para la transmisión de energía

A finales del 2013 el costo por la transmisión de electricidad proveniente de energías renovables o de cogeneración eficiente fue cercano a los \$0.14 pesos/kWh (costos por tensión: alta 0.03405, media 0.03405 y baja 0.06812), que fue comparativamente menor al de transmisión de electricidad generada con fuentes tradicionales [PROMÉXICO, 2014b].

#### 3.3.2.5 Medición neta (Net Metering)

Destinado a los proyectos de pequeña escala (hasta 10 kWpico -kWp- para hogares y 30 kWp para empresas). El objetivo es compensar el costo de la electricidad utilizada con la energía aportada a la red nacional [PROMÉXICO, 2014b; IGS, 2014].

#### 3.3.2.6 Metodología de contraprestaciones para el pago a los generadores de ER

Mediante ésta se establecen los precios máximos y mínimos con los que la CFE adjudicará los contratos de generación de electricidad, así como la contraprestación (remuneración) que les pagará a las empresas ganadoras. De esta forma, el proceso será transparente y ofrecerá una utilidad razonable y certidumbre a los generadores a partir de ER interesados. [PROMÉXICO, 2014b; IGS, 2014].

### 3.3.3 Fondos y Medios de financiamiento

#### 3.3.3.1 Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE).

Tiene como objetivo impulsar el sector energético del país mediante proyectos, programas y acciones que promuevan el desarrollo de las ER y la eficiencia energética para reducir el incremento en las emisiones de GEI [PROMÉXICO, 2014b; IGS, 2014].

A través de este fondo se buscará [DOF, 2014c]:

- a) *Promover e incentivar el uso y la aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, la eficiencia y el ahorro de energía;*
- b) *Promover y difundir el uso y la aplicación de tecnologías de energías renovables, para ahorro y uso eficiente de la energía en todas las actividades productivas y en el uso doméstico;*
- c) *Promover la diversificación de fuentes primarias de energía, incrementando la oferta de las fuentes de energía renovable;*
- d) *Establecer un programa de normalización para la eficiencia energética y para las tecnologías de conversión de las energías renovables;*
- e) *Promover y difundir medidas para la eficiencia energética, así como el ahorro de energía y las energías renovables;*
- f) *Proponer las medidas necesarias para que la población tenga acceso a información confiable, oportuna y de fácil consulta en relación con el consumo energético de los equipos, aparatos y vehículos, que requieren del suministro de energía para su funcionamiento;*
- g) *Proponer las medidas necesarias para que la población tenga acceso a información confiable, oportuna y de fácil consulta en relación con las energías renovables*
- h) *Promover entre las entidades y dependencias del sector público, así como entre el sector privado, la integración de un inventario de Programas y Proyectos de Inversión sobre aprovechamiento sustentable de la energía, e*
- i) *Invertir el patrimonio del Fideicomiso, en tanto no se destine al cumplimiento de sus fines, de acuerdo con lo previsto en la cláusula quinta del Contrato’.*

El FOTEASE fue creado en el marco de la LAERFTE, con éste se financia la investigación y el desarrollo tecnológico en energías renovables, orientado en la producción industrial y el desarrollo de tecnologías emergentes. Sirve también para la electrificación rural con fuentes renovables e incentivar aplicaciones no eléctricas de estas fuentes. Se disponía repartir los fondos según lo siguiente [USAID, 2009]:

- 55% para el ‘Fondo Verde’, que incentive el uso de tecnologías renovables maduras (aplicaciones eléctricas). Este fondo se basa en el subsidio otorgado al proyecto eólico La venta III dentro del PERGE.
- 6% para el ‘Fondo de Tecnologías Emergentes’ (aplicaciones eléctricas)
- 15% para el ‘Fondo de I+D de las ER (FIDTER)’
- 10% para el ‘Fondo de electrificación rural’
- 7% para el ‘Fondo de Biocombustibles’
- 7% para el ‘Fondo General de ER’ (aplicaciones no eléctricas)

Según SENER, durante el 2014, el Fondo ascendió a \$1,000,000,000 destinados al apoyo a eficiencia energética y energías renovables. Cuenta con cuatro programas piloto de sustitución de lámparas incandescentes por fluorescentes compactas en localidades de hasta 100,000 habitantes en Michoacán,

---

Guerrero, Sonora y Chihuahua; un estudio sobre potencial de recursos renovables; entrega de donativos y préstamos del Banco Mundial operados por la SENER [www.energia.gob.mx, 2015].

### *3.3.3.2 Fondo Sectorial CONACyT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética*

Es un programa federal que impulsa la investigación científica aplicada y desarrollo tecnológico para impulsar las fuentes renovables de energía, la eficiencia energética, el uso de tecnologías limpias, y la diversificación de fuentes primarias de energía. [www.conacyt.gob.mx, 2015; PROMÉXICO, 2014b].

Mediante éste se apoya la creación de los Centros Mexicanos de Innovación en Energía Solar, Eólica y Geotérmica (CEMIEs), así como el Laboratorio de Innovación en Sustentabilidad Energética; el Laboratorio se centrará en el desarrollo de proyectos de innovación, la investigación científica y tecnológica aplicada.

### *3.3.3.3 Nacional Financiera, S.N.C., NAFIN*

Es la entidad que tiene a su cargo el financiamiento del desarrollo de proyectos a base de fuentes renovables de energía; puede llevarse a cabo a través del fondeo con recursos de organismos internacionales, financiamiento con emisión de capital y colocación de deuda para proyectos en construcción o en operación [PROMÉXICO, 2014b]. Apoya el cumplimiento del PND 2013-2018 [www.nafin.com, 2015].

### *3.3.3.4 Banco Nacional de Obras y Servicios, S.N.C., BANOBRAS*

Es un banco de desarrollo que trabaja con el sector público y privado otorgando el financiamiento para el desarrollo de proyectos de infraestructura y servicios públicos de los gobiernos locales, apoya su fortalecimiento financiero e institucional. También promueve la inversión y financiamiento privado [www.conacyt.gob.mx, 2015; PROMÉXICO, 2014b].

### *3.3.3.5 Banco Nacional de Comercio Exterior, Bancomext*

Este organismo cuenta con fondeo externo para proyectos sustentables a largo plazo. Las actividades que son susceptibles de apoyo son proyectos de generación con energías renovables, protección y mejora ambiental y los conocidos como Mecanismos de Desarrollo Limpio o MDL [www.bancomext.com, 2015; PROMÉXICO, 2014b].

### *3.3.3.6 Fideicomiso de Riesgo Compartido, FIRCO*

A través del FIRCO se apoya la instalación de tecnologías aplicables al uso de las energías renovables y eficiencia energética destinados a los agronegocios de áreas rurales [www.firco.gob.mx, 2015; PROMÉXICO, 2014b].

### *3.3.3.7 Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, FIDE*

En el FIDE se apoyan los proyectos de generación y cogeneración de energía eléctrica de hasta 500 KW. Se apoya la adquisición e instalación de equipos y sistemas que funcionarán mediante el uso de fuentes alternativas de energía [www.fide.org.mx, 2015; PROMÉXICO, 2014b].

### 3.3.4 Programas

*Programa de Servicios Integrales de Energía, SIE, para Pequeñas Comunidades Rurales en México.* Se trata de un proyecto de electrificación rural mediante el cual se proveerá de servicio eléctrico mediante fuentes renovables a comunidades aisladas del SEN. La meta es beneficiar a 50,000 viviendas (aproximadamente 250,000 habitantes) en cinco años. La primera fase se desarrolla en los estados de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Veracruz [www.energia.gob.mx, 2015; PROMÉXICO, 2014b].

*Programa para la promoción de calentadores solares de agua en México (PROCALSOL):* Se fomenta el ahorro de energía en el calentamiento de agua en los sectores residencial, comercial, industrial y agrícola [www.conuee.gob.mx, 2015; PROMÉXICO, 2014b].

*Programa de fomento de sistemas fotovoltaicos en México (PROSOLAR):* El programa pretende impulsar en el corto y mediano plazo la tecnología solar fotovoltaica y garantizar el crecimiento del mercado con calidad. Está basado en cuatro líneas de acción: 1) Marco regulatorio y normativo adecuado, 2) financiamiento, 3) capacitación; e 4) información y difusión [PROMÉXICO, 2014b].

### 3.3.5 Construcción de nuevas líneas de transmisión

Por sus características, las granjas eólicas generalmente se sitúan en zonas aisladas, lejos de las líneas de transmisión, por lo que se hace necesaria la planeación de alternativas de solución; de manera que, con el fin de hacer llegar la electricidad generada en estos campos eólicos, tanto los de la CFE como los del programa de temporada abierta, es necesaria la construcción de nuevas líneas de transmisión.

Se pueden considerar las acciones que otros países han seguido con el fin de integrar a la energía eólica (y otras fuentes renovables de energía) dentro de la generación de electricidad. En los Estados Unidos se han creado incentivos destinados al tendido de las líneas de transmisión de la energía eoloelectrónica; con base en información técnico-económica de los recursos renovables, se podría seleccionar, ya sea el proyecto o la creación de nuevas opciones de líneas de transmisión de mayor factibilidad. La selección de los proyectos correría a cargo de un grupo de expertos, desarrolladores de tecnologías, la sociedad civil e inversionistas. La U.S. Agency for International Development indica que podría tenerse en cuenta el análisis del potencial de energía eólica actualmente desarrollado en México e integrarlo en los Proyectos de Energía Renovable a Gran Escala financiado con el fin de buscar financiamiento [USAID, 2009].

La construcción de estas líneas de transmisión también podría estar a cargo de los suministradores de electricidad mediante contratos tipo riesgo compartido, evitando que sea únicamente la CFE la que corra con los gastos de construcción. La operación y administración seguirían a cargo de la CFE como se estipula en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, además de continuar con los actuales esquemas.

### 3.3.6 Metodología de cálculo de los costos de transmisión

La cantidad de energía eléctrica que se genera mediante el aprovechamiento de las energías renovables debe ingresar a la red de transmisión. Sin embargo, la metodología de cálculo de las tarifas de transmisión está a cargo de la CRE, la CFE es la que proporciona el modelo de flujos de carga. Ya en 2009 se mencionaba que el procedimiento de cálculo era poco claro e inclinado en favor de la paraestatal [USAID, 2009].

En este contexto, la transparencia en el método de cálculo, así como la ratificación de la Comisión Reguladora de Energía como ente autónomo encargado de aprobar acciones y otorgar permisos relacionados a la industria eléctrica traería la confianza entre los actores involucrados de que los proyectos se llevarán a cabo de manera eficiente, competitiva y con beneficios para todas las partes involucradas. Por lo tanto, es necesario dotar a la CRE de la capacidad técnica suficiente para poder establecer de manera independiente y transparente los cargos de transmisión al Sistema Eléctrico Nacional.

### 3.3.7 Establecer el valor real de la electricidad (subsidios)

En México el esquema de subsidios ha hecho insostenible la existencia de incentivos fiscales en el sector eléctrico. En estudios previos del sector eléctrico en los que se ha incursionado en la proliferación de la generación eólica se encontró que los subsidios cruzados del sector industrial y comercial a los sectores residencial y agrícola, así como la figura del autoabastecimiento remoto, generó un desequilibrio entre la energía entregada al sector público y al privado respecto al del sector industrial con autoabastecimiento [USAID, 2009].

En particular, la generación eólica se ha beneficiado con la figura del autoabastecimiento y, considerando los documentos oficiales, la mayor parte de la generación futura provendrá de ésta. Ante esta realidad, se deben generar las regulaciones necesarias y esquemas de subsidios adecuados que protejan los intereses de la nación sobre los intereses de los proyectos de generación privados dentro del mercado eléctrico nacional, sin olvidar la posibilidad ya mencionada de crear contratos de riesgo compartido.

La USAID al respecto menciona que *‘en la ausencia de reformas en el esquema de subsidios, puede poner en riesgo la sustentabilidad financiera del mercado eléctrico, ya que está concentrada en el sector más rentable, dejando las pérdidas al suministrador público. Por lo tanto, un desarrollo sustentable de las energías renovables en México debería ir acompañado de un proceso de reforma de la política de subsidios de la CFE.’* [USAID, 2009].

Este tipo de actualizaciones y reformas dentro del sector eléctrico y sus esquemas de subsidios se deben generar teniendo siempre presente la *sustentabilidad financiera* de todo el mercado eléctrico. Las prospectivas eléctricas y metas de generación de energías renovables se centran en disminuir las emisiones contaminantes del sector eléctrico mediante el incremento de su eficiencia y el uso de las fuentes renovables de energía, pero considerando dentro de éstas el costo del proyecto, el valor real de los efectos al ambiente y a la sociedad.



Según la U.S. Agency for International Development con un fondo verde [USAID, 2009]:

- *‘El subsidio a la generación debe ser suficiente y sustentable. Para tener un impacto real en el desarrollo de las energías renovables, el subsidio tiene que tener un nivel estable mínimo, entre US\$ 10 y US\$ 20 por MWh generado, y debe ser sustentable en el tiempo: Elegibilidad para el subsidio garantizada durante cinco años, durando la aplicación del subsidio entre 5-10 años.*
- *La CFE y los agentes privados deben recibir una ayuda a la generación renovable. Los proyectos de generación renovable bajo las modalidades de exportación, autoabastecimiento, cogeneración y pequeña producción, deberían ser elegibles para recibir un subsidio a la generación ya que, aunque no estén sujetos a la metas de generación renovable, aportan una serie de beneficios medioambientales al sistema de generación global. Además, en el caso de la exportación, esta ayuda permitiría mejorar la competitividad de las empresas mexicanas con respecto a las estadounidenses que reciben el PTC.*
- *La gestión del fideicomiso debe ser independiente y transparente. Para evitar un control de los agentes con mayor poder de mercado, el control y monitoreo de dicho fondo debe estar en manos de una institución independiente, que establezca mecanismos claros y transparentes de asignación de dichos fondos.*
- *La financiación del fondo debe ser estable y financieramente sustentable. La financiación de dicho fondo podría venir del presupuesto federal, gestionada por la propia SENER y otros apoyos internacionales.’*

Las regulaciones, instrumentos e incentivos que se han descrito en los apartados anteriores, han surgido como una respuesta ante las necesidades, por un lado, de dar cumplimiento a las medidas nacionales (e internacionales en las que se ha comprometido México) de cumplir las metas de reducción de emisiones de GEI y mitigar los efectos del cambio climático y, por el otro, de solventar la demanda de energía eléctrica de la población, incluso, de aquella situada en lugares remotos.

Así, una vez que los proyectos se hayan aceptado y construido se debe vigilar el desempeño de los mismos. Además del desarrollador, el sector industrial, el académico y los habitantes de las comunidades que se verán beneficiados deben estar igualmente involucrados en la administración del proyecto. A continuación se describen las principales medidas que fueron plasmadas en las regulaciones e instrumentos de fomento a las fuentes renovables de generación eléctrica que contemplan dichos aspectos.

### 3.4 SALVAGUARDAS SOCIOAMBIENTALES PREVISTAS EN LA LEY

Las modificaciones efectuadas a los artículos 25, 27 y 28 constitucionales buscan el desarrollo (económico) del país de una forma sustentable, mediante el cual sea posible obtener beneficios económicos y sociales sin dejar de lado la protección al ambiente. Con la planteada Reforma Energética del 2013 (Sección 3.2.6) se puso de manifiesto la necesidad de ‘actualizar’ estos artículos de nuestra Constitución.

El argumento a considerar es la falta de recursos económicos necesarios para modernizar, eficientar y hacer un mejor uso y aprovechamiento de los recursos (renovables y no renovables) del país. La inversión en la principal paraestatal mexicana, implicaría un mayor aprovechamiento del petróleo, el incremento de la eficiencia de refinación (con la consecuente disminución en la importación de gasolinas), el

resurgimiento de la industria petroquímica que sumaría competitividad internacional al país; con dicha reactivación se podrían poner los ojos en las otras fuentes de energías alternativas (solar, eólica, hidroenergía, geotermia, oceánica, mareomotriz y la biomasa) evitando ‘quemar’ un recurso no renovable para la obtención de electricidad.

Cada política creada debe garantizar que las propuestas y/o modificaciones conllevarán al desarrollo integral y sustentable de una región y del país, en las que la participación de los particulares se encuentre detalladamente definida bajo la transparencia requerida en los temas que competen a la Nación. El Artículo 25 Constitucional es claro en este sentido con respecto a la participación de los particulares en los esquemas de explotación de los recursos del país.

Por otro lado, la creación de la LAERFTE denotó el interés de las autoridades locales por lograr la soberanía energética mediante el uso y aprovechamiento (eficiente) de las fuentes renovables de energía. Se comienza a vislumbrar el camino que anteriormente se había comenzado a trazar como respuesta a la mitigación del cambio climático global.

En la LAERFTE se definen las estrategias e instrumentos nacionales que han de ser utilizados para disminuir la dependencia nacional hacia los energéticos tradicionales. De igual modo son establecidas metas de generación de electricidad a partir de fuentes renovables, indicando que la participación de éstas dentro de la matriz energética nacional se debe incrementar de manera paulatina; por primera vez se señala la trascendencia de apoyar proyectos que proporcionen electricidad a las comunidades rurales a partir de energías renovables.

Dentro de esta misma Ley, el desarrollo social de las comunidades cercanas a los sitios de generación se posiciona como política pública debido a la urgencia de dar cumplimiento a este tema a través del desarrollo regional, el industrial y tecnológico de México, entonces la consecuencia esperada será la generación de empleos y que, dicho sea de paso, se integre en la dinámica nacional pues para lograrlo se deben proveer las herramientas (bienestar social, fuentes de empleo, atención y disminución de riesgos a la salud) que conformen políticas y programas para el desarrollo sustentable.

Hasta hace unos años, lo inaccesible y lejano de algunas poblaciones dificultaba la tarea de hacer llegar la electricidad a toda la población mexicana por lo que en la LAERFTE se señala el uso de las fuentes renovables de energía, principalmente, con el fin de dotarles de electricidad dejando de lado la imposibilidad de la CFE de colocar tendido eléctrico desde los principales centros de distribución eléctrica hacia ubicaciones remotas.

A nivel mundial, el cambio de la generación de energía eléctrica de manera convencional a la generación con energías más limpias presenta incentivos económicos como mecanismos de financiamiento (bonos de carbono, mecanismos de desarrollo limpio) que permiten tomar acciones que disminuyan las emisiones de gases de efecto invernadero. El uso de las energías renovables en el caso de México tiene un doble beneficio: la puesta en marcha de proyectos de generación de energía cuyo financiamiento puede ser solventado, hasta cierto porcentaje, por entidades internacionales y, el incremento en el nivel de vida debido a las implicaciones ambientales que conlleva no sólo localmente sino que también tendría efectos mundiales en el largo plazo.

Ya en la Ley de la Industria Eléctrica se habla de un desarrollo sustentable de la industria eléctrica, del uso de Energías Limpias, de lograr la reducción de emisiones contaminantes y de buscar tanto la sustentabilidad como la diversificación de la matriz energética mexicana.

De igual modo, la participación social, y en específico la de las comunidades cercanas al futuro sitio de desarrollo de un proyecto de generación de energía, es un tema central de la Ley de la Industria Eléctrica en el que se hace obligatorio informar a dichas comunidades sobre las características del proyecto con el fin de lograr su total aceptación a través de negociaciones justas. También, dentro de la Ley se indica que se ha de hacer un estudio previo de Evaluación del Impacto Social relacionado con el proyecto de generación que debe contener los posibles impactos negativos, así como los pasos a seguir para evitarlos o minimizarlos.

Otro cambio debido a la Reforma energética se llevó a cabo en Agosto de 2014 y es modificada la Ley de Inversión Extranjera, con ello la participación de la industria privada en la producción de energía mediante fuentes renovables estaría regulada. De esta manera, se avanzó en el tema de la diversificación energética mexicana, restándole terreno a las plantas de generación eléctrica convencionales.

Por otra parte, se debe recordar que las acciones que se habían estado planteando y ejecutando una vez que México decide tomar el compromiso internacional de unirse a la lucha contra el cambio climático dieron origen a la Ley General de Cambio Climático y en ésta se enfatizaba la necesidad de lograr el desarrollo del país a través de acciones sustentables. A lo largo del texto se evidencia la disposición de mitigar la emisión de gases de efecto invernadero hacia el 2020 y así hacer frente al creciente problema ambiental global, como se habían venido planteando varios años atrás en México.

En la LGCC se estarían regulando muchas de las actividades humanas que incrementan las emisiones de GEI; se promueve una participación transversal del gobierno, la sociedad y las industrias (empresas) con el fin de lograr un *bien común*. Ante esta ‘demanda’, se pretende crear y promover incentivos económicos que posibiliten (en lo que a energía eléctrica se refiere) un desarrollo de bajas emisiones de carbono. Aunado a lo anterior, también se promueve el uso eficiente de recursos, acciones tendientes a la mitigación del cambio climático, así como medidas de adaptación, acciones integrales y transversales en las que participen todos los sectores de la población, la responsabilidad ambiental en todas las actividades (económicas), la protección de los ecosistemas y la biodiversidad.

Ahora bien, la creación de políticas públicas involucrando nuevamente a todos los sectores de la población, generará la conciencia social mediante la cual, por ejemplo, la sociedad civil podría realizar tareas de vigilancia facilitando la labor de las dependencias gubernamentales en la identificación del infractor a las leyes ambientales.

En el texto de la LGCC hay un énfasis en lograr que la producción de energía eléctrica en México sea con fuentes renovables. La reducción de emisiones antropogénicas es un tema de sumo interés en la legislación ambiental, por ello es importante el estudio concienzudo de todas las opciones, contar con la información necesaria que permita la integración de los diversos escenarios a fin de obtener la alternativa tanto económica, ambiental y socialmente más adecuada en beneficio del país. Todas las acciones, programas y demás instrumentos de mitigación tomados, se apegan a las necesidades locales y globales, dando cumplimiento a acuerdos internacionales como lo fue el Protocolo de Kioto.

Por otro lado, en la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía se han establecido estrategias cuyos resultados se verán reflejados en la disminución de emisiones contaminantes y en ahorros en el costo de producción de electricidad, un beneficio que tendrá la población nacional.

En una escala mayor, dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 se plasman los objetivos a cumplir en el mediano y largo plazos en los distintos sectores productivos. Se detallan las acciones que se han de realizar para lograr dichos objetivos. También se indica que el desarrollo económico de México se realizará de manera sustentable, poniendo especial atención en el bienestar social (salud, seguridad, generación de fuentes de empleo, acciones de adaptación al cambio climático, mejora en el nivel educativo, por mencionar algunas), el uso y aprovechamiento sustentable de los recursos, incentivando la inversión y la protección al ambiente, principalmente, con lo que eventualmente se lograría erradicar tanto el hambre como la pobreza extrema.

El PND contiene diversos objetivos con los que se pretende lograr un desarrollo en el que sea considerada la sustentabilidad ambiental (crecimiento verde) mediante el conocimiento de los costos y beneficios sociales que cada actividad (económica) humana tiene relacionados, con la participación de entidades federales, estatales y municipales resaltando el enfoque transversal. De tal modo que la legislación ambiental deberá de ser adecuada a la necesidad imperante de salvaguardar tanto los recursos naturales como el ambiente. En un sentido paralelo, se precisa el uso de tecnologías eficientes, limpias y que contribuyan a la mitigación de los GEI con el consecuente financiamiento.

Al igual que en el PND, el desarrollo tecnológico y científico con un sentido sustentable es parte central de las políticas públicas que desde hace algunos años se han creado, una de éstas es la ENCC del 2013 y tiene la ventaja de estar respaldada por un marco regulatorio bien definido, a nivel local, regional y nacional. En los últimos años las políticas en materia de energía y cambio climático se han enfocado en lograr un desarrollo sustentable (que impactarán tanto a nivel nacional como internacional). Por ello, se busca la participación de la sociedad civil, académicos, investigadores, desarrolladores de tecnologías y gobierno en la elaboración de políticas públicas de menores emisiones contaminantes.

En materia de energías renovables, éstas se han ido integrando progresivamente a la matriz energética mexicana; por ejemplo, desde la década de los 90's la participación eólica se ha estado incrementando, teniendo su mayor auge entre 2011 y 2012; los productores independientes de energía poseen la mayor parte de la capacidad instalada, lo que ha permitido que a finales del 2013 se hayan generado más de 1,800,000 MWh eólicos, como lo indica la ENCC.

Tanto los campos eólicos actuales en operación y los proyectados se encuentran instalados en las regiones norte y sur del país, zonas en las que se tienen los mayores potenciales; no obstante, se tienen planteados (y se encuentran ya en construcción) algunos proyectos en ubicaciones que permiten cierto grado de aprovechamiento del recurso eólico a lo largo del territorio nacional a manera de cumplir con el propósito de esta Estrategia. Por otra parte, ya se estudia la opción de proyectos eólicos costa afuera.

Uno de los objetivos de la Reforma Energética es lograr un desarrollo sustentable. Por un lado, los costos ambientales se verían reducidos ya que la generación a partir de las energías renovables tiene menos emisiones de GEI. El aprovechamiento de nuevas fuentes demandará mano de obra que se reflejará en la generación de empleos y, finalmente, al reducir los costos de producción se obtendrá energía eléctrica

barata. Sin embargo, es indispensable tener presente la necesidad de vigilar las alianzas con el sector privado, a fin de salvaguardar el patrimonio de la Nación, evitando suspicacias y favoritismos, como ya lo han expuesto en investigaciones previas [Waggoner y Ausubel, 2002].

La Reforma Energética propone que sean la energía eólica, la geotérmica, la hidráulica y mini hidráulica, la biomasa y la energía solar las fuentes renovables de energía apropiadas para su aprovechamiento debido a su gran potencial y, que a su vez, se logren beneficios adicionales como la disminución de emisiones contaminantes y un beneficio social en todas las comunidades cercanas.

Considerando la información del capítulo 2, es evidente que el creciente uso del recurso eólico, en particular, ha despertado interés tanto entre el sector académico, las distintas instituciones educativas y de investigación, así como en el sector industrial; de continuar esta tendencia, nos estaríamos acercando a un desarrollo de bajas emisiones.

Otra de las ventajas fundamentales del auge de las fuentes renovables de energía en el contexto social es la posibilidad que éstas abren a la disponibilidad de electricidad dentro de las regiones más aisladas y apartadas del tendido eléctrico del Sistema Eléctrico Nacional.

Finalmente, el contenido de los distintos documentos que han sido elaborados en materia energética concuerda con la necesidad de hacer un aprovechamiento sustentable de los recursos renovables de la nación y que gradualmente la generación de energía con tecnologías más limpias le vaya ganando terreno a la generación convencional de electricidad.

### 3.5 CONCLUSIÓN

El marco legal en política ambiental que se ha detallado, asegura la protección del bienestar social, los recursos (naturales), del entorno y el uso de manera sustentable de los mismos. Por tales motivos, su cumplimiento debe ser garantizado por las instancias gubernamentales adecuadas. Con esta política ambiental se busca establecer, si bien no un equilibrio, sí un balance entre costos, beneficios y externalidades directamente relacionados con el desarrollo de cualquier tipo de proyecto, en el cual las componentes ambiental, social y económica se vean afectadas negativamente en menor grado.

La ejecución de un proyecto lleva consigo alteraciones de diversos tipos en el entorno. Los principales efectos relacionados van desde el deterioro ambiental, ruido, humos, polvos, destrucción física de flora y fauna, nivelaciones, generación de desechos, pérdida de nivel freático, hasta sobreexplotación, disminución o pérdida de la recarga de acuíferos, entre otros y pueden estar presentes durante la ejecución de estudios previos, en la construcción y durante la operación (o vida útil de la obra). Cada una de estas alteraciones debe ser tomada en cuenta en la etapa de planeación con el fin de cuantificar los costos externos del proyecto.

Al respecto, Soberanes y Treviño (1997) definen a estos costos o externalidades *'como aquellos que tarde o temprano tendrá que pagar la sociedad, en su conjunto, como consecuencia de los efectos adversos que provoca la obra en el medio'*. De manera que estas externalidades llegarán a afectar el paisaje, modificar la producción de las tierras cultivables y el uso de suelo, los cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos y otros servicios ambientales. Dichas pérdidas podrían ser estimadas en términos monetarios [Soberanes; Treviño, 1997].

El potencial aprovechable y los beneficios de la generación eoloelectrónica justifican su incentivación fiscal y el pago de premios por la electricidad limpia producida. Sin embargo, es pertinente realizar las mejoras necesarias en los esquemas de financiamiento (a fin de evitar en lo posible afectaciones económicas en el sector eléctrico nacional) con el consecuente beneficio social.

Hacia el 1° de Junio de 2011 se reformaron los artículos 3°, 10, 11, 14 y 26 de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. En estas modificaciones se enfatizó la necesidad de crear una metodología de evaluación de las externalidades en la generación de electricidad a partir de las diversas fuentes renovables y no renovables, así como políticas específicas y aplicables; todo ello con el objeto de lograr una adecuada legislación para el aprovechamiento de las energías renovables. También se establecen metas de participación de las fuentes renovables en la generación de electricidad, de manera gradual. Cabe señalar que dentro de estas modificaciones se indica que se deberán hacer evaluaciones del cambio en la generación a partir de fuentes renovables y de su uso de forma sustentable y se establece también la meta de que, al 2050, el uso de combustibles fósiles en la generación eléctrica sea máximo del 50% [DOF, 2011].

Ahora bien, el desarrollo de la tecnología eoloelectrónica se vio favorecido por las crisis petroleras y ambientales que se han presentado a nivel mundial en los últimos años. Sus ventajas no radican únicamente sobre la parte ambiental al tratarse de una energía limpia, también es posible puntualizar los beneficios sociales y económicos (empleos, disponibilidad y suministro de energía eléctrica; en general, incremento en el nivel de vida de las poblaciones cercanas a los campos de generación eólica). Sin embargo, se han presentado casos en los que el beneficio social reportado por las comunidades colindantes a los parques eólicos ha sido mínimo o nulo, siendo los únicos beneficiados los prestadores del servicio (particulares). Esta situación da pie a realizar una revisión de las condiciones en las que se han llevado a cabo dichos proyectos a fin de impulsar el desarrollo de los mismos de manera sustentable; es decir, sin que ésto represente un daño al ambiente y que las comunidades se vean beneficiadas por la puesta en marcha de la granja eólica, tanto social como económicamente, como respuesta la Ley de la Industria Eléctrica contempla esos detalles.

La Ley de la Industria Eléctrica regula la planeación y el control del Sistema Eléctrico Nacional, la transmisión y la distribución del fluido eléctrico, así como las actividades competentes a la industria eléctrica. En ella se reitera que el Estado mexicano permanece con la administración de la transmisión, la distribución y venta de electricidad permitiendo la participación de particulares en las actividades de generación de energía eléctrica como resultado de la Reforma Energética recién aprobada.

También, es necesaria la creación de instrumentos y entes de vigilancia adecuados, así como el desarrollo de políticas públicas enfocados a evitar que sea el Estado el que lleve el mayor riesgo en cuestión de explotación de recursos (tanto en lo referente al petróleo como en las energías renovables), de manera que las ganancias sean distribuidas de forma proporcional una vez establecidos los costos de cada proyecto. En

este sentido, es forzoso dejar de ver a las empresas paraestatales como la única fuente de ingresos de la Nación en la que, dicho sea de paso, es casi 'inaceptable' realizar inversión alguna. Como es sabido, una empresa exitosa es aquella en la que se invierte y se realizan las acciones pertinentes encaminadas a la obtención de ganancias.

Siendo facultad única y exclusivamente de la Nación la generación, transmisión, distribución y venta de la energía eléctrica, las políticas deberán contener los derechos y obligaciones a los que cada parte es acreedor, las sanciones y las posibles soluciones de los conflictos que llegaran a ocurrir, así como las entidades encargadas de la resolución de los mismos. Una vez remediados estos puntos se podría alcanzar la soberanía energética pues México se encontraría libre de la dependencia tanto en la importación de combustibles fósiles como en las ventas de petróleo, de tal modo que las fluctuaciones en su precio pasarían a segundo plano.

Otro tema que por vez primera se trata en la legislación mexicana es el referente al pago por cualquier deterioro ambiental y daños a la salud humana que las actividades energéticas pudieran llegar a ocasionar y son denominadas *externalidades*. Tanto las metodologías como las políticas públicas que de aquí surjan deberán enfocarse en dar el valor económico justo de todas las afectaciones producidas, así como indicar las formas de mitigar y remediar las consecuencias de las mismas. De tal manera que, el aprovechamiento eficiente de las fuentes renovables y las de generación más limpia se vea acompañado de medidas de protección de la biosfera.

La promoción de la investigación y el desarrollo en y de las tecnologías para el aprovechamiento de los recursos renovables del país es un tema fundamental, lo que abre la posibilidad de que México se posiciona a la par de las primeras potencias en el desarrollo de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables.

Cabe destacar que, a raíz de la serie de reformas que se han efectuado al marco regulatorio mexicano en las que se ha abierto la puerta a la inversión privada, en algunos casos los constructores de pequeñas centrales generadoras son empresas extranjeras, de manera tal que establecer restricciones en el porcentaje de participación que los empresarios extranjeros pueden tener en las empresas mexicanas de generación de energía es un tema de sumo interés, pues al tratarse de los recursos nacionales, se podría llegar a entender que se estaría poniendo en riesgo la soberanía de la Nación. A este respecto, la Ley de Inversión Extranjera expresa la imposibilidad de que la inversión extranjera en aquellas actividades económicas en las que puede tener participación sea mayor al 49%, salvo en los casos en los que la Comisión Nacional de Inversiones Extranjeras lo considere pertinente). Sin embargo, el descontento de grandes sectores de la población hacia las nuevas reformas podría estar justificado si los organismos encargados de la vigilancia incumplen con sus tareas.

Otro punto central en el tema de las fuentes renovables de energía es la participación de instituciones educativas y el apoyo a estas regulaciones ambientales para fomentar el desarrollo de nuevas y mejores tecnologías en materia de reducción de emisiones contaminantes y mitigación del cambio climático. La LGCC y de la LGEEPA. A partir de ello, se requieren políticas públicas en las que los proyectos de desarrollo se realicen en conjunto, docentes, investigadores, sociedad y empresarios y así conocer las necesidades, capacidades y potenciales con los que se cuenta.

Dentro de la LGPEA, se mencionan los conceptos de vulnerabilidad y adaptación ante el cambio climático, siendo el gobierno el encargado (con carácter de supervisor y divulgador) de la ejecución acciones que minimicen los efectos adversos del cambio climático en el territorio nacional. Sin embargo, dentro de las políticas públicas se debe promover la participación de la población que pudiera verse afectada por tal situación pues es ésta la que tiene conocimiento del territorio con lo que sería sencillo elaborar mapas y planes de evacuación con base en su información.

Por otra parte, la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía impulsa el uso eficiente de la energía, tanto en el sector público, en el sector privado y el sector residencial; se promueve el uso de nuevas y mejores prácticas así como un aprovechamiento sustentable de la energía, ejemplo de ello fue el programa de sustitución de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes que ya se llevó a cabo no sólo en el sector público, sino que también se invitó al sector residencial a realizar tal cambio y lograr la disminución (por el bajo consumo de electricidad) de las emisiones contaminantes producidas en las centrales eléctricas. El cambio de aparatos electrodomésticos de baja eficiencia por nuevos de mayor eficiencia también ha sido parte de este enfoque hacia el aprovechamiento sustentable de la energía.

En resumen: generación sustentable y eficiente de electricidad, disminución de emisiones de GEI por concepto de generación eléctrica, diversificación de la matriz energética, reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, desarrollo en ciencia y tecnología de producción de electricidad a partir de fuentes limpias de producción, acceso a la electricidad por el 100% de la población del país, mano de obra calificada, el desarrollo sustentable social y económico de la población mexicana en general, son sólo algunas de las pautas que deben formar parte vital de las políticas nacionales.



---

---

## 4 EL CICLO DE VIDA AMBIENTAL DE LA GENERACIÓN EOLOELÉCTRICA.

Considerar la generación eólica de electricidad de manera sustentable en su Ciclo de Vida; es decir, considerando las vertientes sociales, económicas y ambientales que ésta implica dará un fundamento interesante para sustentar la aplicación de dicha tecnología en el país. Recuérdese que se ha hablado en capítulos pasados del enorme potencial eólico con el que cuenta México y sería desatinado desaprovecharlo, sobre todo si se considera que hay casos exitosos de países que tienen un menor potencial y que han logrado un aporte eléctrico importante con esta tecnología a su sistema energético nacional (Alemania, España, China). Así pues, es deseable realizar un Análisis de Ciclo de Vida ‘integral’ de la generación eólica para proporcionar más argumentos que favorecen su aplicación.

La energía eólica es calificada como ambientalmente amigable; sin embargo, no hay energía limpia y ésta no es la excepción [Lenzen, 2002]. Durante su Ciclo de Vida (la obtención/extracción de las materias primas, en la fabricación de los componentes de la turbina eólica, el transporte, así como la energía necesaria mientras se llevan a cabo las actividades anteriores), hay un consumo de recursos que generan emisiones contaminantes.

### INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad, la búsqueda de satisfactores ha estado directamente relacionada con el incremento de emisiones contaminantes que deterioran el ambiente; si bien en épocas tempranas la capacidad de resiliencia de los ecosistemas lograba reducir estos efectos en el planeta, en la actualidad esta capacidad ha sido rebasada debido a las prácticas de producción y hábitos de consumo inadecuados, por lo que es necesario tomar medidas al respecto.

La demanda de esos satisfactores por parte del ser humano, ejerce una cierta presión sobre los ecosistemas del planeta. Dicha presión debe ser cuantificada, dando lugar a la creación de un nuevo concepto: la *huella ecológica*. El World Wildlife Fund (WWF) indica que: *‘La Huella Ecológica analiza las demandas humanas sobre la biosfera comparando el consumo de la humanidad con la capacidad regenerativa de la Tierra, o biocapacidad. Se hace calculando el área requerida para producir los recursos que consume la gente, el área ocupada por infraestructuras y el área de bosque que se necesita para secuestrar el CO<sub>2</sub> que no es absorbido por los océanos’* [WWF, 2012].

En otras palabras, la huella ecológica mide la cantidad de tierra y mar biológicamente productivas por individuo, región, de toda la humanidad, o de los recursos que una actividad humana requiere, su consumo y absorción de CO<sub>2</sub>; esta medida contrasta con la cantidad de tierra y mar disponibles. El concepto integra de manera somera las etapas de ‘creación, consumo y disposición final’ de un satisfactor. No obstante, es necesario un estudio riguroso y detallado de los efectos y emisiones implicados en la generación de un producto o servicio; un concepto adecuado en esta evaluación es el análisis del Ciclo de Vida.

Es decir, el término ‘Ciclo de Vida’ se refiere a las principales actividades implicadas en la vida útil de un producto, desde su fabricación, uso y mantenimiento, hasta su disposición final, incluyendo la adquisición de la materia prima requerida para la fabricación del producto [EPA, 2010].

El Análisis de Ciclo de Vida (también LCA, por sus siglas en inglés), es una evaluación de los impactos ambientales debidos a la fabricación y uso de tecnologías, productos o servicios durante todas las etapas de su Ciclo de Vida. En éste se desarrollan estrategias que son fundamentales para eficientar el proceso de producción que, a su vez, permitirán reducir de manera importante los niveles de la contaminación ambiental, ya que se estará considerando un mejor aprovechamiento del recurso y el reciclado de los materiales involucrados [Müller, et al., 2006; Lenzen, 2002].

El ACV es un marco metodológico que estima y analiza los impactos ambientales atribuibles al Ciclo de Vida de un producto, como los son: el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono estratosférico, la generación del ozono troposférico (smog), la eutrofización, acidificación, el daño en la salud humana y los ecosistemas, la destrucción de recursos, uso del agua, uso de suelo, el ruido, entre otros [Rebitzer, et al., 2004].

La EPA lo define como ‘una técnica para el análisis de los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, un proceso o servicio, a través de:

- la elaboración de un inventario de los requerimientos de energía y materiales pertinentes, así como de las emisiones al ambiente;
- la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con las entradas y salidas (emisiones) identificadas en el proceso;
- la interpretación de los resultados para contribuir a la toma de la decisión más adecuada’ [EPA, 2010].

En éste se realiza un estudio ‘de la cuna a la tumba’ de los sistemas industriales. El proceso de la cuna a la tumba comienza con la obtención de las materias primas de la tierra para generar productos y concluye en el momento en que todos los materiales son devueltos a la tierra. El ACV evalúa todas las etapas de la vida de un producto, considerando que son interdependientes, lo que significa que una operación da paso a la siguiente. Se pueden estimar los efectos ambientales acumulativos, resultado de todas las etapas del Ciclo de Vida de un producto, incluyendo, a menudo, los efectos que no son considerados en la mayoría de los análisis tradicionales (por ejemplo, en la extracción de materias primas, transporte del material, disposición final del producto, etc.).

Al incluir los impactos durante el Ciclo de Vida del producto, el ACV proporciona una visión detallada de los aspectos ambientales del producto o del proceso, así como una imagen más aproximada de las ventajas y desventajas ambientales implicadas en la selección de un determinado producto o proceso en particular. Cuando se considera completo el Ciclo de Vida de un producto, junto con los flujos de energía y materiales asociados, se tiene lo que se conoce como sistema del producto.

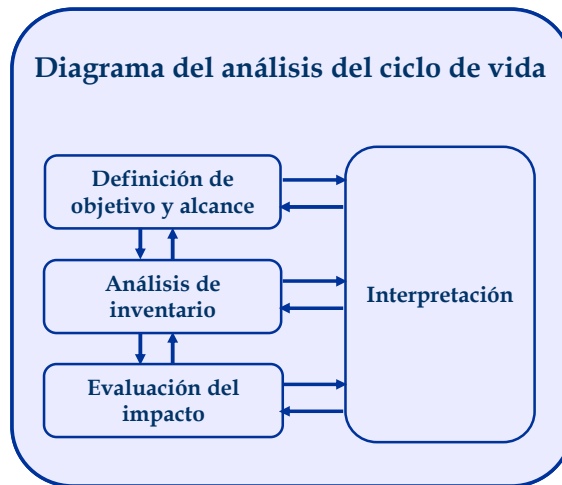
En la Figura 7 se observan las posibles etapas que pueden ser consideradas en un Análisis de Ciclo de Vida y las entradas/salidas típicas que se pueden cuantificar [EPA, 2006].



Fuente: EPA, 2006.

Figura 7. Etapas del Ciclo de Vida.

El proceso del ACV es un enfoque sistemático, por etapas, que consiste en cuatro componentes principales: 1) definición de objetivos y alcance, 2) análisis de inventario, 3) evaluación del impacto y, por último 4) interpretación, como se muestra en la Figura 8.



Fuente: EPA, 2006.

Figura 8. Etapas de un ACV. Fuente Norma ISO 14040/44, (2006)

En la *Definición de objetivos y alcance* se precisa y describe el producto, el proceso o la actividad. Establece el contexto en el que se realiza el análisis, e identifica los límites y los efectos ambientales que se revisarán para la evaluación.

El *Análisis de inventario* es la etapa en la que se identifica y cuantifica el uso de energía, agua y materiales, así como las emisiones al ambiente (emisiones atmosféricas, disposición de residuos sólidos, descarga de aguas residuales).

Durante la *Evaluación del impacto* se determinan los posibles efectos ambientales y al ser humano, debidos al uso y consumo de energía, agua y materiales; así como las emisiones ambientales identificadas en el análisis de inventario.

Finalmente, en la *Interpretación* se evalúan los resultados del análisis de inventario y de la evaluación del efecto para seleccionar el producto, proceso o servicio adecuado; con un claro entendimiento de la incertidumbre y de los supuestos utilizados para generar los resultados.

Si bien el ACV es un procedimiento único que incluye todos los procesos y las emisiones al ambiente debidos a la generación de un producto, desde la extracción de las materias primas y la producción de la energía necesaria en la fabricación, hasta el uso y la disposición final del mismo que, al proporcionar alternativas, puede ser útil para que los tomadores de decisiones evalúen y comparen los principales efectos ambientales de los productos, procesos o servicios [EPA, 2006].

Ahora bien, la estimación del consumo de recursos, la magnitud del flujo de residuos y las emisiones causadas o, de otra manera, atribuibles al Ciclo de Vida de los productos se lleva a cabo a través de la metodología del *Inventario del Ciclo de Vida*.

Los procesos dentro del Ciclo de Vida, los materiales y flujos de energía asociados, así como otros intercambios han sido modelados para representar el sistema de insumos y productos totales, desde y hacia el entorno natural, respectivamente. Esto da lugar a un modelo de sistema de productos y a un inventario de los intercambios ambientales derivados de la unidad funcional.

La *Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida*, (LCIA, por sus siglas en inglés) se realiza con la ayuda de indicadores e información de las principales contribuciones de la extracción de recursos y las emisiones/residuos en un inventario a un número de efectos potenciales. El resultado de un LCIA es una evaluación del Ciclo de Vida de un producto, sobre una base por unidad funcional, en términos de varias categorías de impactos (tales como el cambio climático, las presiones toxicológicas, el ruido, el uso del suelo, etc.) y, en algunos casos, en forma agregada (como los años de vida humana perdida debido al cambio climático, efectos carcinogénicos, ruido, etc.) [Rebitzer, et al., 2004].

#### 4.1 HISTORIA DEL Y METODOLOGÍA DEL ACV

El ACV, tuvo sus orígenes en la década de los 60's del siglo pasado. La disminución de las materias primas y los recursos energéticos despertó el interés en encontrar la forma de determinar de manera cuantitativa el uso de energía y proyectar sus fuentes y usos en el futuro. Harold Smith, en la Conferencia Mundial de Energía de 1963, reportó sus primeros cálculos de requerimiento de energía acumulada en la obtención de productos intermedios y productos químicos.

Hacia 1969, algunos investigadores iniciaron un estudio interno para *The Coca-Cola Company* que estableció la base de los métodos actuales del análisis de inventario del Ciclo de Vida en los Estados

Unidos. Al comparar los envases de diferentes bebidas y determinar cuál sería el que representaba menores emisiones al ambiente con la menor afectación en el suministro de recursos naturales, el estudio determinó la cantidad de materias primas, la de combustible utilizados y las cargas ambientales del proceso de fabricación de cada envase.

Tanto compañías de EEUU, como de Europa realizaron un análisis de inventario del Ciclo de Vida similar, en los primeros años de la década de 1970's. En ese momento, la información disponible se obtuvo de fuentes públicas, como documentos oficiales o técnicos, debido a que los datos industriales específicos no lo estaban.

Posteriormente se publicaron estudios de modelos globales en *The Limits to Growth* de Meadows, et al., 1972 y en *A Blueprint for Survival*, de Goldsmith, et al., de 1972, donde se predijeron los efectos que tendría el cambio que ejerce la población mundial sobre la demanda de materias primas y recursos energéticos finitos. Las predicciones de un agotamiento rápido de los combustibles fósiles y de cambios climáticos se fundamentaron en el exceso de calor residual que fomentó una evaluación más detallada del uso y consumo de energía en los procesos industriales. En este período se realizaron cerca de doce estudios de estimación de los costos y las implicaciones ambientales de las fuentes alternativas de energía [EPA, 2006].

El proceso de cuantificación de recursos utilizados y de las emisiones ambientales de los productos, como se desarrolla en los Estados Unidos, es conocido como Análisis del Perfil Ambiental y de los Recursos (REPA, por sus siglas en inglés). En Europa, es llamado Ecobalance. Se crearon grupos públicos, con lo que se contribuyó a que la industria garantizara la exactitud de la información de dominio público.

Con la escasez de petróleo durante los primeros años de la década de 1970's, se llevaron a cabo cerca de 15 REPA (entre 1970 y 1975). Durante este período se desarrolló una metodología para la elaboración de este tipo de estudios. La metodología era multietapas e involucraba ciertos supuestos. En esos años, los supuestos y técnicas utilizados se sometieron a una revisión concienzuda por parte de la Environmental Protection Agency, EPA, y las principales industrias con lo que las metodologías fueron evolucionando.

Desde 1975 y hasta los primeros años de la década de 1980's, debido a que el interés por estos estudios integrales disminuyó por el desvanecimiento de la crisis petrolera, los aspectos ambientales fueron desplazados por los temas relacionados con la gestión de los residuos peligrosos y municipales. No obstante; durante ese tiempo, el inventario del Análisis de Ciclo de Vida continuó realizándose y la metodología fue mejorándose al ejecutarse cerca de dos estudios por año, muchos de los cuales se centraron en los requerimientos de energía. En ese momento, el interés europeo resultó en la creación de una Dirección Ambiental (DG X1) por la Comisión Europea y se desarrollaron enfoques paralelos a los que estaban siendo utilizados en los Estados Unidos.

En 1985 la DG X1 emitió la Directiva de Contenedores de Alimentos Líquidos para el monitoreo del consumo de energía y materias primas y la generación de residuos sólidos. Además trabajó en la estandarización de los reglamentos de contaminación en Europa.

Cuando en 1988 los residuos sólidos se convirtieron en un problema a nivel mundial, se retomó al ACV como una herramienta para analizar los problemas ambientales. Debido a que el interés en todos los temas que involucran a los recursos y al ambiente creció, la metodología de ACV sufrió nuevamente mejoras. Muchos investigadores y consultores de todo el mundo la perfeccionaron y ampliaron.

En 1991 la preocupación por el uso inadecuado del ACV para hacer una comercialización generalizada, provocó reclamos de fabricantes, lo que llevó a la declaración emitida por once fiscales estatales de los Estados Unidos en la que se denunciaba el uso de los resultados de los ACV en la promoción de productos y métodos estandarizados de elaboración de dichos estudios y de llegar a un consenso de cómo estas comparaciones ambientales podrían ser utilizadas como publicidad engañosa.

Aunado a lo anterior, surgió la presión de organizaciones ambientales de legislar la metodología del ACV, lo que propició el desarrollo de normas en la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) ISO 14000, 14041, 14042, 14043 e ISO 14044 (cabe aclarar que, desde el año 2006 no se encuentran vigentes la ISO 14041, 14042 e ISO 14043).

En el año 2002, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC) pusieron en marcha la asociación internacional *Iniciativa del Ciclo de Vida*. La asociación consta de tres programas enfocados en el Ciclo de Vida, poniendo en práctica herramientas de apoyo mediante la mejora de datos e indicadores.

Uno de los programas es el de *Gestión del Ciclo de Vida* (LCM, por sus siglas en inglés), éste crea conciencia y mejora las habilidades de los tomadores de decisiones mediante la generación de información, el establecimiento de foros para compartir las mejores prácticas y la realización de programas de capacitación en cualquier parte del mundo.

Otro programa es el del *Inventario del Ciclo de Vida*, que permite el acceso mundial a la transparencia, da una mayor calidad de los datos de Ciclo de Vida facilitando el acceso a grupos de expertos que trabajan en sistemas de información de sitios web.

Finalmente, el programa de *Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida* (LCIA, por sus siglas en inglés), incrementa la calidad y el alcance global de los indicadores del Ciclo de Vida, promoviendo el intercambio de opiniones entre los expertos, cuyo trabajo genera una serie de recomendaciones ampliamente aceptadas [EPA, 2006].

En la Tabla 11 se muestra un resumen de las fechas y actividades trascendentales en el desarrollo de la metodología del Análisis de Ciclo de Vida.

**Tabla 11:** Principales actividades en la historia del análisis del Ciclo de Vida.

<b>1969</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El Midwest Research Institute (MRI) realiza el primer ACV para la Coca-Cola, la premisa fundamental fue disminuir el consumo de recursos y disminuir las emisiones al ambiente.</li> <li>▪ El desarrollo del ACV se originó casi simultáneamente en Estados Unidos y Europa.</li> <li>▪ Durante los años setenta, la Franklin Associates Ltd. y la MRI realizaron más de 60 análisis usando métodos de balance de entradas/salidas e incorporando cálculos de energía.</li> </ul>
<b>1970 - 1974</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La EPA realizó nueve estudios de envases para bebidas. Como resultado, se sugiere no utilizar el ACV en cualquier estudio, en especial por empresas pequeñas, pues presenta costos altos, requiere de mucho tiempo y es necesario el manejo de empresas privadas.</li> <li>▪ En Europa, estudios similares se realizaron en la década de los sesenta.</li> <li>▪ En Gran Bretaña, Lan Boustead realizó un análisis de la energía consumida en la fabricación de envases (de vidrio, plástico, acero y aluminio) para bebidas. A partir de los 80's la aplicación del ACV se incrementó. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollan los métodos para cuantificar el impacto del producto en distintas categorías de problemas ambientales (calentamiento global y agotamiento de los recursos); y</li> <li>- Los estudios de ACV son accesibles al público.</li> </ul> </li> </ul>
<b>1993</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), única institución líder en lo concerniente al ACV, crea el primer código internacional: Código de prácticas para el ACV (Code of Practice for Life Cycle Assessment), que unificarán las metodologías existentes. La ISO establece lineamientos de trabajo con métodos, procedimientos, y terminologías únicos.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de EPA, 2006.

#### 4.1.1 Metodología del ACV

Algunas de las características clave de la metodología de un ACV, mencionadas dentro de la norma internacional ISO 14040, son las siguientes:

- Los estudios de un ACV deben ser sistemática y adecuadamente dirigidos a los aspectos ambientales de los sistemas de producción, desde la adquisición de la materia prima, hasta su disposición final.
- El grado de detalle y el tiempo de un estudio de ACV puede variar, en gran medida, dependiendo de la definición del objetivo y el alcance.
- El alcance, supuestos, descripción de la calidad de los datos, metodologías y los resultados de los estudios, deben ser transparentes. Los estudios del ACV deben discutir y documentar el origen de los datos de forma clara, y deben ser apropiadamente reportados.
- Deben establecerse las disposiciones, dependiendo de la aplicación del estudio del ACV prevista, para respetar la confidencialidad y derechos reales.
- La metodología del ACV debe ser apta para incluir nuevos descubrimientos científicos y mejoras en el diagnóstico de la tecnología.
- Se aplican requerimientos específicos a los estudios del ACV que son utilizados en la creación de puntos de comparación que sean de divulgación pública.
- No hay bases específicas para reducir los resultados del ACV a una única puntuación global o a un número ya que existen ventajas, desventajas y aspectos complejos dentro del sistema analizado, en las diferentes etapas de su Ciclo de Vida.
- No existe un método único para realizar estudios de ACV. Las organizaciones deberían ser flexibles en la implementación del ACV, con base en su aplicación específica y las necesidades del usuario.

---

---

#### 4.1.1.1 Definición de objetivos y alcance del ACV

Tanto el objetivo y el alcance de un estudio de ACV deberán estar claramente definidos, y deberán ser consistentes con la aplicación prevista.

##### *Objetivo del estudio*

El objetivo del ACV deberá ser claro y de acuerdo a la aplicación prevista; se deben dar a conocer las razones para su ejecución y el público al que va dirigido [ISO 14040, 2006].

##### *Alcance del estudio*

En la definición del alcance de un estudio de ACV, se deberán considerar los siguientes puntos, y serán descritos de manera clara:

- las funciones del sistema de producción o, en el caso de estudios comparativos, de los sistemas,
- la unidad funcional,
- el sistema de producción a estudiar,
- los límites del sistema de producción,
- procedimientos de distribución,
- tipos de impacto y metodología de evaluación del impacto y la subsecuente interpretación que se utilice,
- datos requeridos,
- supuestos,
- limitaciones;
- calidad inicial de los datos requeridos,
- tipo de revisión crítica, en su caso,
- tipo y formato del reporte requerido para el estudio.

El alcance debe estar suficientemente definido para asegurar que tanto la amplitud, la profundidad y el detalle del estudio son compatibles y suficientes para lograr la meta. El ACV es una técnica iterativa, por lo que podría necesitar ser modificado mientras se está desarrollando y recopilando información adicional [ISO 14040, 2006].

#### 4.1.1.2 Función y unidad funcional

El alcance de un ACV deberá especificar claramente las funciones del sistema que está siendo estudiado. Una unidad funcional es una medida del rendimiento de los productos funcionales del sistema de producción. El propósito principal de la unidad funcional es proporcionar una referencia en la que las entradas y salidas están relacionadas. La referencia, necesariamente debe garantizar la compatibilidad de los resultados del ACV. Ésta es sumamente importante cuando se están evaluando distintos sistemas pues garantiza que tales comparaciones se han realizado sobre una base común.

Un sistema puede poseer un número de posibles funciones y la seleccionada en un estudio depende de los objetivos y metas del estudio. La unidad funcional descrita deberá estar definida y ser cuantificable. Como ejemplo, la unidad funcional de un sistema de pintura se puede definir como la unidad de superficie protegida por un determinado período de tiempo [ISO 14040, 2006].



#### 4.1.1.3 Límites del sistema

Estos límites determinan cuál unidad de proceso deberá incluirse dentro del ACV. Existen varios factores que determinan los límites del sistema, incluyendo el propósito del estudio, los supuestos considerados, las variables límite, datos y costos restrictivos, y el consumidor final.

La selección de las entradas y salidas, el nivel de agregación dentro de una categoría de datos y el modelado del sistema, deberán ser compatibles con el objetivo del estudio. El sistema debe ser modelado de tal forma que las entradas y salidas en sus límites sean los flujos elementales.

El criterio utilizado para establecer los límites del sistema deberá estar identificado y justificado en los alcances del estudio. El ACV que se usa en la elaboración de una comparación afirmativa y que se da a conocer al público, deberá contener un análisis de flujo de materiales y energía para determinar su inclusión en los alcances del estudio [ISO 14040, 2006].

#### 4.1.1.4 Requisitos de calidad de datos

Se especifican, en términos generales, las características de los datos necesarios para el estudio. Estos requisitos deberán definirse para alcanzar los objetivos y el alcance del ACV.

El estudio deberá cumplir con ciertos requerimientos de calidad para sustentar una comparación destinada al público y para asegurar dicha calidad, éstos son:

- cobertura relacionada con el tiempo,
- cobertura geográfica,
- cobertura tecnológica,
- precisión, integridad y representatividad de los datos,
- coherencia y reproducibilidad de los métodos utilizados en el ACV,
- fuentes de los datos y representatividad,
- la incertidumbre de la información.

#### 4.1.1.5 Comparación entre sistemas

En estudios comparativos, la equivalencia de los sistemas que se examinan deberá ser evaluada antes de interpretar los resultados. Los sistemas se compararán usando la misma unidad funcional y consideraciones metodológicas equivalentes, como el rendimiento, los límites del sistema, la calidad de los datos, los procedimientos de asignación, las reglas de decisión sobre la evaluación de las entradas y salidas y la evaluación del impacto. Cualquier diferencia entre los sistemas en relación con estos parámetros deberá ser identificada y reportada.

En el caso de estudios comparativos, la evaluación se llevará a cabo de conformidad con la ISO 14040 y, además, se debe realizar una evaluación de impacto.

---

---

### 4.1.2 Análisis de inventarios

En esta etapa, se identifican y cuantifican la energía, el agua y los materiales utilizados, así como sus emisiones a la atmósfera [EPA, 2006].

#### *Descripción general del inventario del Ciclo de Vida*

En el análisis de inventario se recolectarán los datos y se especificarán los procedimientos de cálculo de la cuantificación de entradas y salidas del sistema de producción. Estas entradas y salidas pueden incluir el uso de recursos y las emisiones al aire, al agua y al suelo asociadas con el sistema. Se pueden obtener interpretaciones a partir de estos datos, dependiendo de los objetivos y del alcance del ACV. Estos datos también constituyen una visión preliminar de la evaluación del impacto del Ciclo de Vida.

Es un proceso iterativo. Conforme se recolectan los datos y se aprende más sobre el sistema, pueden identificarse nuevos requerimientos o limitaciones que implican cambios en los procedimientos de recopilación de datos, de modo que los objetivos del estudio puedan cumplirse. En ocasiones se pueden identificar los problemas que requieren de la revisión del objetivo o alcance del estudio, [ISO 14040, 2006].

#### *Recopilación de datos y procedimientos de cálculo*

Se recopilan los datos cualitativos y cuantitativos del inventario de cada unidad del proceso incluidas en los límites del sistema, lo que puede implicar un uso intensivo de recursos. Las restricciones en la recolección de datos deben considerarse dentro del alcance y documentarse adecuadamente en el informe del estudio.

Los procedimientos para la recolección de datos, variará en función del alcance, la unidad de proceso o la aplicación prevista del estudio. Algunas consideraciones importantes de cálculo son [ISO 14040, 2006]:

- Los procedimientos de asignación son necesarios en sistemas que involucran varios productos (por ejemplo, los productos de la refinación del petróleo). Los materiales y flujos de energía, así como las emisiones asociadas al ambiente, se asignarán a los diferentes productos de acuerdo a los procedimientos claramente establecidos, lo que será documentado y justificado.
- El cálculo del flujo de energía debe considerar los diferentes combustibles y fuentes de electricidad utilizada, la eficiencia de conversión y la distribución del flujo de energía, así como las entradas y salidas de la generación y el uso del flujo de energía.

### 4.1.3 Evaluación del impacto

Se estimarán los potenciales efectos ecológicos y al ser humano por el uso de la energía, el agua y los materiales, así como las emisiones ambientales identificadas en el análisis de inventarios [EPA, 2006].

Es este punto se estima la importancia de los posibles efectos ambientales utilizando los resultados del análisis de inventario del Ciclo de Vida. En general, este proceso consiste en asociar los datos del inventario con efectos ambientales específicos, tratando de comprenderlos. El nivel de detalle, la selección de los impactos evaluados y las metodologías utilizadas dependen del objetivo y el alcance del estudio. La evaluación puede incluir procesos iterativos de revisión del objetivo y el alcance del estudio para determinar cuándo se han cumplido los objetivos del estudio o para modificar el objetivo y el alcance de la aplicación si la evaluación indica que no se puede lograr [ISO 14040, 2006]. Adicionalmente, los datos anteriores a la ponderación deben permanecer disponibles.

La etapa de la evaluación del impacto puede incluir los siguientes elementos:

- **Clasificación:** asignación de las categorías de impacto a los datos del inventario;
- **Caracterización:** modelación de los datos del inventario dentro de las categorías de impacto;
- **Ponderación:** agrupación de los resultados en casos muy específicos y únicamente cuando sean significativos.

Actualmente, la metodología de la evaluación del impacto continúa en desarrollo. Cabe mencionar que existen diferentes modelos de categorías del impacto que se encuentran en desarrollo, las más utilizadas se muestran en la Tabla 12.

**Tabla 12:** Categorías de impacto utilizadas comúnmente.

Categoría de impacto	Escala	Factor de caracterización	Descripción del factor de caracterización
Calentamiento global	Global	Potencial de calentamiento global	Los datos del inventario se transforman en dióxido de carbono equivalente ( $CO_{2eq}$ ). *Los potenciales de calentamiento global pueden ser a 50, 100, o 500 años.
Agotamiento del ozono estratosférico	Global	Potencial de agotamiento de ozono	Los datos del inventario se transforman en triclorofluorometano equivalente (CFC-11).
Acidificación	Regional Local	Potencial de acidificación	Los datos del inventario se transforman en iones hidrógeno equivalente ( $H^+$ ).
Eutroficación	Local	Potencial de eutroficación	Los datos del inventario se transforman en fosfato equivalente ( $PO_4$ ).
Smog fotoquímico	Local	Potencial de generación oxidación fotoquímica	Los datos del inventario se transforman en etano equivalente ( $C_2H_6$ ).
Toxicidad terrestre	Local	$LC_{50}$	Los datos se transforman en $LC_{50}$ equivalente.
Toxicidad acuática	Local	$LC_{50}$	Los datos se transforman en $LC_{50}$ equivalente.
Salud humana	Global Regional Local	$LC_{50}$	Los datos se transforman en $LC_{50}$ equivalente.
Agotamiento de recursos	Global Regional Local	Potencial de agotamiento de recursos	Los datos del inventario se expresan con relación a la cantidad de recursos utilizados frente a la cantidad de recursos en reserva.
Uso de suelo	Global Regional Local	Disponibilidad de suelo	Transforma la masa de residuos sólidos en volumen a través de una densidad estimada.
Uso de agua	Regional Local	Potencial de almacenamiento de agua	Los datos del inventario se expresan con relación a la cantidad de agua utilizada en relación a la cantidad de recursos en reserva.

**Fuente:** Elaboración propia con datos de EPA, 2006.

No existen, en general, metodologías aceptadas para la asociación consistente y precisa de los datos del inventario con efectos ambientales específicos. Hay una subjetividad en la etapa de evaluación del impacto del Ciclo de Vida implícita en la selección, el modelado y la evaluación de las categorías de impacto, lo que hace fundamental la transparencia durante la evaluación del efecto para garantizar que las suposiciones están claramente descritas y reportadas [ISO 14040, 2006].

Algunas de las categorías de impacto ambiental que son consideradas dentro de un ACV se describen en el siguiente apartado.

#### 4.1.4 Categorías de impacto ambiental

Los impactos ambientales que tiene el desarrollo de un proyecto, servicio o la elaboración de un producto son numerosos, se tienen impactos en el suelo, el aire, el agua y en la salud humana, entre otros. Estos impactos se agrupan para su estudio en las llamadas categorías de impacto.

A continuación se explican brevemente las categorías de impacto: agotamiento abiótico, acidificación, eutroficación, calentamiento global, agotamiento de la capa de ozono, toxicidad humana, ecotoxicidad de agua fresca, ecotoxicidad marina, ecotoxicidad terrestre y oxidación fotoquímica [Martínez, E., et al., 2010a].

**Agotamiento abiótico:** Esta categoría de impacto está referida a la protección del bienestar humano, la salud humana y la salud del ecosistema. Se relaciona con la extracción de minerales y combustibles fósiles. El potencial de agotamiento abiótico se determina para cada extracción de minerales y combustibles fósiles. Está expresado en kg antimonio equivalente ( $\text{kgSb}_{\text{eq}}$ )/kg de extracción (basado en la concentración de las reservas).

**Acidificación:** Se relaciona con las sustancias acidificantes que causan impactos diversos en el suelo, aguas subterráneas, aguas superficiales, en los organismos, los ecosistemas y la materia. Las principales sustancias acidificantes son: bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) y el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). En lo que respecta a las emisiones atmosféricas, el potencial de acidificación se define como el número de iones  $\text{H}^+$  producidos por kg de sustancia con relación al  $\text{SO}_2$ .

**Eutroficación:** Está en relación directa con los impactos ambientales debido a la liberación excesiva de macronutrientes al aire, al agua y al suelo. El nitrógeno (N) y fósforo (P) son los dos nutrientes de mayor implicación en la eutrofización. Este se expresa como fosfato equivalente ( $\text{PO}_{4\text{eq}}^-$ ).

**Calentamiento global:** El cambio climático puede provocar efectos adversos sobre los ecosistemas y la salud humana, está relacionado con las emisiones de GEI a la atmósfera. El cambio en el calentamiento global se expresa como el potencial de calentamiento global en un horizonte de 100 años y está dado en kilogramos de bióxido de carbono equivalente ( $\text{kgCO}_{2\text{eq}}$ )/kg de emisiones.

**Agotamiento de la capa de ozono:** Esta categoría está relacionada con la fracción de radiación UV-B que alcanza la superficie terrestre. El potencial de agotamiento de ozono de diferentes gases se expresa en kilogramos de triclorofluorometano  $\text{kgCFC-11}_{\text{eq}}$ /kg de emisiones.

**Toxicidad humana:** Está relacionado con la exposición y los efectos de las sustancias tóxicas en un horizonte de tiempo infinito. El potencial de toxicidad humano de cada sustancia tóxica se encuentra expresado en kilogramos de 1, 4 diclorobenceno equivalente ( $\text{kg1, 4-DCB}_{\text{eq}}$ )/kg de emisiones.

**Ecotoxicidad de agua fresca:** Se relaciona con el impacto en los ecosistemas del agua dulce, como consecuencia de la emisión de sustancias tóxicas al aire, al agua y al suelo, en un horizonte de tiempo infinito. El potencial de ecotoxicidad de cada sustancia tóxica se expresa como  $\text{kg1, 4-DCB}_{\text{eq}}$ /kg de emisiones.

**Ecotoxicidad marina:** Esta categoría de impacto se relaciona con el impacto en los ecosistemas marinos. El potencial ecotoxicidad se expresa en  $\text{kg1, 4-DCB}_{\text{eq}}$ /kg de emisiones.

**Ecotoxicidad terrestre:** Se encuentra relacionada con el impacto en los ecosistemas terrestres. Se expresa en  $\text{kg1, 4-DCB}_{\text{eq}}$ /kg de emisiones.

**Oxidación fotoquímica:** Esta categoría está relacionada con la formación de sustancias reactivas (principalmente ozono) que son perjudiciales a la salud humana y los ecosistemas, que también pueden dañar los cultivos. Los potenciales de impacto están expresados como una emisión equivalente de la sustancia de referencia etileno,  $\text{C}_2\text{H}_4$ .

#### 4.1.5 Informes, evaluación y mejoras

La interpretación es la etapa del ACV en la que los resultados del análisis de inventarios y los de la evaluación de impactos se combinan, pero sólo los datos consistentes con el objetivo y alcance definidos serán de utilidad y considerados por los tomadores de decisiones como conclusiones y recomendaciones en el informe [ISO 14040, 2006].

Los resultados de estas interpretaciones pueden ser consideradas por los tomadores de decisiones como conclusiones y recomendaciones, de acuerdo con el objetivo y el alcance del estudio.

Con los resultados del análisis de inventarios y de la evaluación del impacto se seleccionará el producto preferido, proceso o servicio, con un claro entendimiento de la incertidumbre y los supuestos utilizados en la generación de resultados [EPA, 2006].

La etapa de interpretación puede involucrar el proceso iterativo de examinar y revisar el alcance del ACV, así como la naturaleza y la calidad de los datos colectados, consistentes con el objetivo definido. Las

---

---

recomendaciones de la etapa de interpretación deberán reflejar los resultados de los análisis de sensibilidad que se llevan a cabo.

A pesar de las decisiones y acciones posteriores, pueden incorporar implicaciones ambientales identificadas en los resultados de la interpretación, que van más allá del estudio del Análisis de Ciclo de Vida, ya que también son considerados otros factores como el rendimiento técnico, los aspectos económicos y sociales.

#### *4.1.5.1 Presentación de informes*

Los resultados del ACV serán justos, completos e informarán de manera precisa a los interesados. El tipo y el formato del informe se definen durante el alcance del estudio.

Los resultados, datos, métodos, supuestos y limitantes deberán ser transparentes y presentados de manera lo suficientemente detallada para permitir al lector comprender las complejidades, ventajas y desventajas inherentes al estudio del ACV. El informe también deberá permitir que los resultados y su interpretación se utilicen de manera coherente con los objetivos del estudio [Rebitzer, et al., 2004].

Cuando los resultados deban ser comunicados a terceros, es decir, a la parte interesada que no es el encargado o el profesional del estudio, independientemente de la forma de comunicación, éste ha de ser comprensible.

El informe dirigido a terceros debe cubrir los siguientes aspectos:

- a) aspectos generales:
  - 1) encargado del ACV (interno o externo);
  - 2) fecha del reporte;
  - 3) declaración de que el estudio se ha realizado de acuerdo a la ISO 14040.
- b) definición del objetivo y alcance;
- c) análisis de inventario del Ciclo de Vida: recopilación de datos y procedimientos de cálculo;
- d) evaluación de impactos del Ciclo de Vida: metodología y resultados de la evaluación de impacto que se llevó a cabo;
- e) interpretación del Ciclo de Vida:
  - 1) resultados;
  - 2) supuestos y limitaciones asociadas con la interpretación de los resultados, tanto en metodología como los datos relacionados;
  - 3) datos de evaluación de calidad;
- f) revisión crítica:
  - 1) nombre y afiliación de los encuestados;
  - 2) informes de revisión crítica;
  - 3) respuestas a las recomendaciones.

Si se han de comparar los resultados, las siguientes cuestiones también se presentarán dentro del informe [Rebitzer, et al., 2004]:

- análisis de flujos de materiales y energía, justificando su inclusión o exclusión;
- evaluación de la precisión, integridad y representatividad de los datos utilizados;
- descripción de la equivalencia de los sistemas que se comparan;
- descripción del proceso de examen crítico.

Después de la compilación, tabulación y análisis preliminar de todos los intercambios del ambiente (emisiones, consumos de recursos, etc.) en el denominado Inventario del Ciclo de Vida (Life Cycle Inventory, LCI, por sus siglas en inglés), son a menudo necesarios en el cálculo e interpretación los indicadores de los efectos potenciales asociados a estos intercambios con el entorno natural, lo que se conoce como Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (Life Cycle Impact Assessment, LCIA, por sus siglas en inglés) [Rebitzer, et al., 2004].

En el siguiente apartado se presenta un caso de estudio del Análisis de Ciclo de Vida de los generadores eólicos de mayor uso en México en el que se sigue esta metodología que ha sido publicado en la *Applied Thermal Engineering* (A.V. Vargas, et al., Life cycle assessment: A case study of two wind turbines used in Mexico, *Applied Thermal Engineering*, 2015)<sup>6</sup>. Se analizan los impactos ambientales de la fabricación de dos turbinas eólicas de 2.0 MW de capacidad nominal y 80 metros de diámetro [the wind power, 2013a; CFE, 2013b].

---

<sup>6</sup><http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.10.056>.

---

## 4.2 CASO DE ESTUDIO DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LOS GENERADORES EÓLICOS DE MAYOR USO EN MÉXICO

Con el fin de aplicar los conceptos presentados en secciones anteriores, se realizó un estudio de caso de dos turbinas ya instaladas en México. El ACV mostró los impactos ambientales por el uso de diferentes materiales y el consumo de electricidad en la fabricación de los principales componentes de las turbinas en las fases de fabricación, construcción y disposición final. Los resultados mostraron que los impactos ambientales más intensivos provienen de los componentes de la nacelle y de la torre en ambas turbinas y que dentro de las fases del ciclo de vida, la turbina A tiene menos impactos ambientales que la B, específicamente durante la fabricación y la disposición final. Este estudio es de utilidad a los tomadores de decisiones en el diseño de productos tecnológicos y su comercialización pues podrían determinar características de los aerogeneradores que pueden modificarse para mitigar los impactos ambientales, contribuyendo a la innovación tecnológica en temas la sustentabilidad y de energías renovables en México.

El desarrollo de la tecnología eólica *in situ* ofrece al país la posibilidad de maximizar el uso de las capacidades tecnológicas existentes y la infraestructura de la industria nacional [ENCC, 2013; PND, 2013; SENER, 2013c; Medina-Ross, et al., 2005]. Sin embargo, no hay estudios que consideren los impactos ambientales que esta tecnología podría producir [González Galarza, et al., 2013; Huacuz, 2008; Borja Díaz, et al., 1998]. En esta tesis se presenta un estudio de caso de dos aerogeneradores utilizados en México y su impacto ambiental a través de un Análisis de Ciclo de Vida, resultados publicados en 2015 [Vargas, et al., 2015]. Por lo tanto, proporciona elementos útiles para la producción sustentable de esta tecnología en México.

Cabe destacar que a nivel internacional, se han realizado estudios similares en Japón [Hondo, 2005], España [Martínez, et al., 2010a; Martínez, 2009a; Martínez, et al, 2009b], Dinamarca [Garrett & Rønde, 2013; Garrett & Rønde, 2011; Elsam Eng., 2004; Schleisner, 2000], Australia [Crawfor, 2009], Francia [Tremeac, 2009], Austria [Guezuraga, 2012] y el Reino Unido [Greening, 2013]. Sin embargo, realizar una compilación completa de estudios es muy complicado debido a la escasa literatura disponible de ACV con respecto a los aerogeneradores comerciales y en la generación de energía eléctrica en México [SENER, 2013a; Cancino, et al., 2011]. En este caso, a diferencia de otros estudios realizados en México y con el fin de ir más allá de la investigación y de las limitaciones contextuales de la realidad local, se analizó la tecnología eólica comparando dos tipos de turbinas de viento que proporcionan resultados importantes.

Los aerogeneradores seleccionados (A y B) son los terceros más utilizados en México (24%); los otros son turbinas con una capacidad nominal de 1.5 MW (32%) y 850 kilowatts (kW) (30%) [the wind power, 2013a; the wind power, 2013b; IEA, 2013; AMDEE, 2012]. Estos generadores tienen una vida útil estimada de 20 años, pero su principal diferencia estriba en la cantidad de materiales y energía utilizados durante la fase de fabricación de sus componentes, en la de construcción y durante el desmantelamiento. Estas diferencias se presentan en las Tablas 1 y 2 del *Anexo VII Life Cycle Assessment: a case study of two wind turbines used in Mexico*. En este estudio de caso se asumió la capacidad eólica instalada en México en el año 2011 de 1.1% de la capacidad total [CFE, 2013a].

A partir de las diferencias en los parámetros más importantes del inventario de Ciclo de Vida de cada una de las turbinas (ver *Anexo VII* para detalles) se calcularon las categorías de impacto considerando los factores de emisión del sector eléctrico reportado en la literatura mexicana [SENER, 2013c; Santoyo-



---

---

Castelazo, 2011] y la base de datos Ecoinvent (v2.1) utilizando el software SimaPro (versión 7.2.4, Pre Consultores). Es preciso indicar que el inventario del ciclo de vida utilizado en el análisis, es de la literatura disponible [Garrett y Rønde, 2013; Garrett y Rønde, 2011; Martínez, et al, 2010a.; Martínez, 2009a; Martínez, et al, 2009b; Elsam Eng., 2004]. Los principales materiales utilizados en las fases de fabricación y de la construcción se muestran en la Tabla 4 del *Anexo VII*.

Se excluyó la fase de transporte, ya que se supuso que la planta de producción del aerogenerador se encuentra cerca al sitio de construcción y operación del parque eólico, al igual que el sitio de disposición final por lo que también se descartó el transporte en la etapa de disposición final. Tampoco se consideró la etapa de operación del aerogenerador; por lo tanto, ni la electricidad utilizada en el mantenimiento u otros cambios (como el consumo de lubricantes, reemplazo de piezas dañadas, etc.) hechos a la turbina durante su vida útil, se toman en cuenta. Considerando lo anterior, este caso de estudio se centró sólo en conocer el impacto ambiental de los diferentes materiales y la electricidad usados en la fabricación de un aerogenerador. Asimismo, se supuso que la fase de eliminación final requiere el 90% de la electricidad utilizada para la fabricación del aerogenerador [Martínez, 2009a; Martínez, et al, 2009b].

La unidad funcional considerada en este caso de estudio fue la electricidad total (en kilowatts-hora -kWh-) utilizada en el proceso de producción de los materiales involucrados en las fases de fabricación, construcción y disposición final de un generador eólico de 2.0 MW de capacidad y 80 m de diámetro [Guezuraga, 2012; Crawfor, 2009; Tremeac, 2009]. Asimismo, se consideró una vida media del aerogenerador de 20 años [Garrett y Rønde, 2013; Garrett y Rønde, 2011; Martínez, 2009a; Martínez, et al, 2009b].

Las actividades típicas de cada una de las fases del ACV se definieron como se muestra en la Tabla 13 y están basadas en el modelo de ACV de una turbina eólica definido por Martínez, et al. (2009) que indica que la fabricación incluye la extracción, la explotación, la refinación, procesamiento y producción de materiales para componentes y subcomponentes, así como la fabricación de componentes; la construcción comprende la cimentación y levantamiento del aerogenerador en el sitio; finalmente la disposición final incluye el desmantelamiento del rotor, la torre y la nacelle, el transporte en camión hasta el sitio de confinamiento y en algunos casos el reciclaje de los componentes [Garrett y Rønde, 2013; Guezuraga, 2012; Martínez, 2009a; Tremeac, 2009; Dismukes, et al, 2009.; Gagnon, et al, 2002; J. Guinea, 2002]. Este sistema se muestra en la Figura 1 del *Anexo VII*. El análisis se hizo con base en la cantidad de materiales y de electricidad requeridos en dichas fases [Garrett y Ronde, 2011; Martínez, et al, 2010b; Dismukes, et al, 2009; Elsam Eng., 2004; Gagnon, et al, 2002; J. Guinea, 2002; Varming y Hassing, 2001].

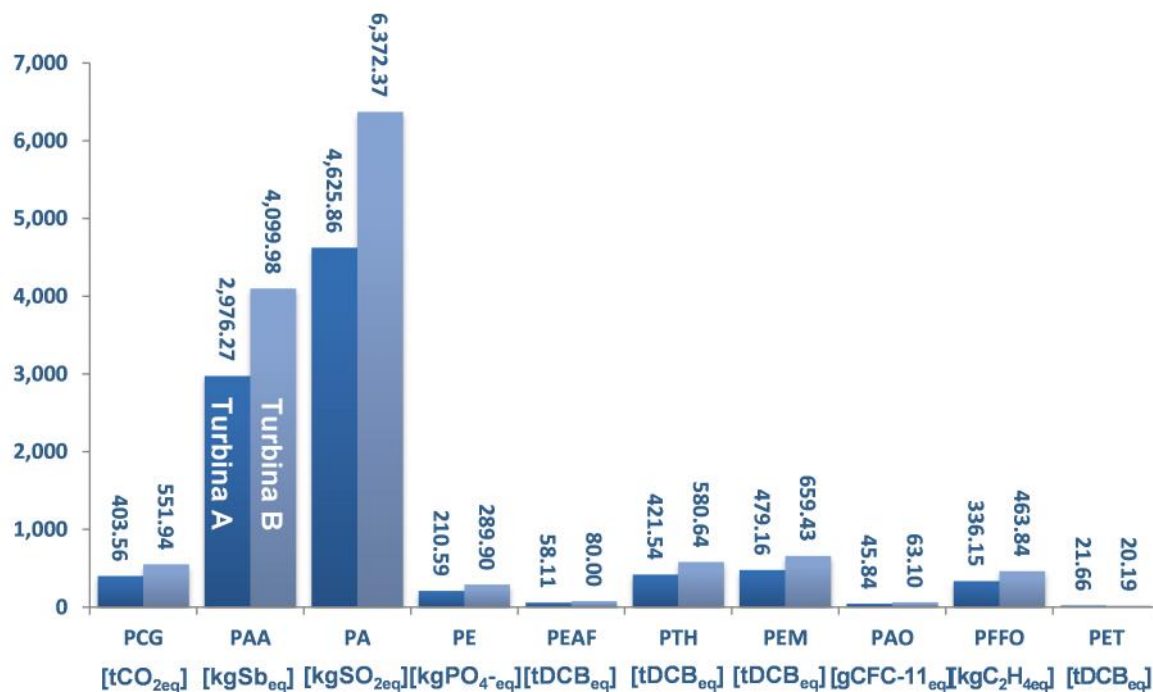
Este caso de estudio se ajustó a las normas de ACV ISO 14040 y 14044 [ISO 14040, 2006, ISO 14044, 2006]. Con base en éstas, se analizaron los impactos ambientales de acuerdo con las categorías siguientes: potencial de calentamiento global (PCG), potencial de agotamiento de la capa de ozono (PAO), potencial de toxicidad humana (PTH), potencial de ecotoxicidad del agua fresca (PEAF), potencial de ecotoxicidad marina (PEM), potencial de ecotoxicidad terrestre (PET), potencial de agotamiento abiótico (PAA), potencial de formación fotoquímica de ozono (PFFO), potencial de acidificación (PA), y el potencial de eutrofización (PE). Los impactos se estimaron a través de la metodología CML-2001, como se indica en el *Anexo VII* [Garrett y Rønde, 2013; Garrett y Rønde, 2011; Martínez, et al, 2009a; Martínez, et al, 2009b; Dismukes, et al, 2009; Pehnt, 2006; Elsam Eng., 2004; Gagnon, et al, 2002; Guinée, 2002; Schleisner, 2000].

**Tabla 13:** Principales actividades comúnmente incluidas en el ACV de un aerogenerador.

Fase	Actividades
Fabricación	Extracción/producción (extracción, refinación, procesamiento y construcción) de materiales para la fabricación de componentes del aerogenerador (acero, concreto, fibra de vidrio, etc.). Fabricación de la nacelle, el rotor, las aspas y la torre.
Construcción	Construcción de la cimentación y montaje del aerogenerador en el lugar.
Disposición final	Desmantelamiento del rotor, la torre y la nacelle del aerogenerador; transporte en camión al sitio de disposición y, en algunos casos, reciclaje de los componentes.

**Fuente:** Martínez, et al., 2009a.

Una vez obtenidos los resultados de caracterización de las categorías de impacto seleccionadas, se elaboraron las Figuras 9 a 13 (ver *Anexo VII*). Es preciso indicar que se muestran los resultados hasta la etapa de caracterización debido a que permite realizar una comparación más sencilla, pues existen muchas maneras de normalización que hacen poco usual presentar los resultados normalizados [Batumbya, et al., 2006]. Éstos también se compararon con resultados internacionales [Greening, 2013; Guezuraga, 2012; Crawford, 2009; Tremac, 2009].

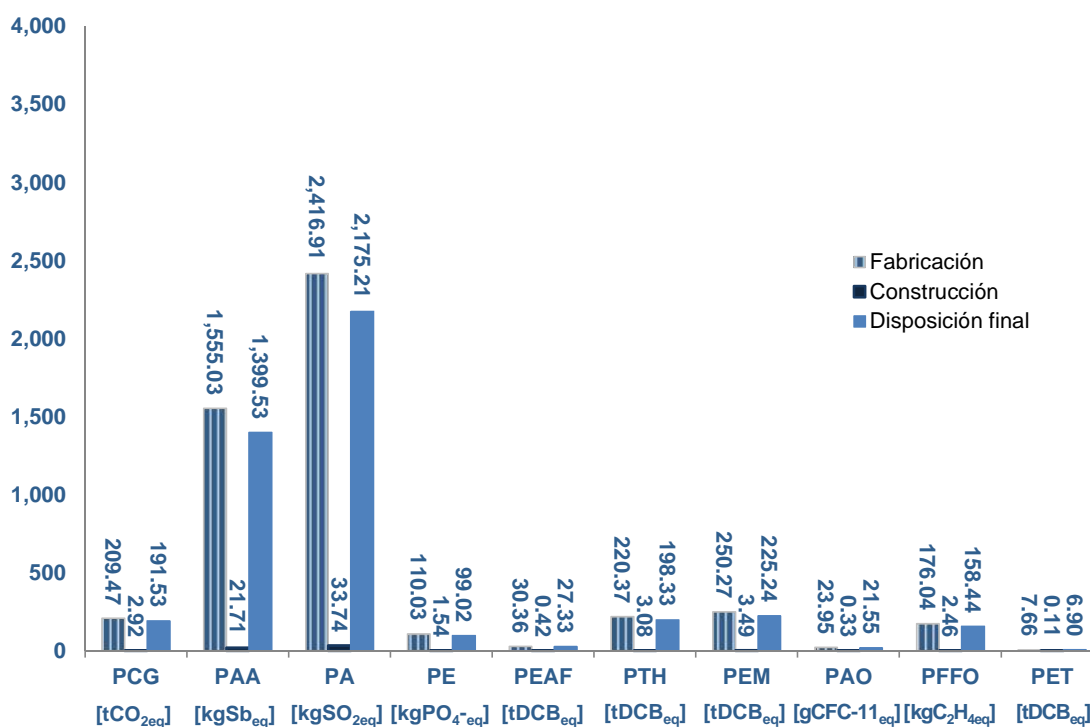


**Figura 9.** Impactos ambientales de los aerogeneradores A y B de 2.0 MW de capacidad.

Donde PCG es el potencial de calentamiento global, PAO es el potencial de agotamiento de la capa de ozono, PTH es el potencial de toxicidad humana, PAEF el potencial de ecotoxicidad del agua fresca, PEM es el potencial de ecotoxicidad marina, PET es el potencial de ecotoxicidad terrestre, PAA es el potencial de agotamiento abiótico, PFFO es el potencial de formación fotoquímica de ozono, PA es el potencial de acidificación, y PE el potencial de eutrofización, expresadas en g, kg o ton según el impacto.

Como se ha visto en los inventarios del ciclo de vida, ambas turbinas eólicas son fabricadas con los mismos materiales; sin embargo, es el aerogenerador B el que requiere una mayor cantidad de cada material, así como de energía eléctrica, que la turbina eólica A. Se consideró que los resultados están en función de la cantidad de materiales ya que no hay diferencias significativas en el tipo de materiales de construcción entre las dos turbinas eólicas y el efecto de aquellos materiales que son diferentes en los aerogeneradores (y que se encuentran en cantidades pequeñas), no alteran significativamente los resultados de las categorías de impacto.

Los hallazgos sugieren que el aerogenerador A tiene menos impactos ambientales que la turbina eólica B. La Figura 10 y la Figura 11 muestran la contribución de las diferentes fases del Ciclo de Vida en los impactos de las turbinas de A y B. El mayor impacto acumulativo fue en la fase de fabricación en ambas turbinas (52%). La construcción contribuye con menos del 1% y la fase de disposición final con cerca del 47%.



**Figura 10.** Contribución de las diferentes fases del ciclo de vida a los impactos en el aerogenerador A: fabricación, construcción y disposición final.

El potencial de agotamiento de la capa de ozono se estimó en 45.84 gCFC-11<sub>eq</sub> para el aerogenerador A y 63.10 gCFC-11<sub>eq</sub> para el B (Figura 9). Las emisiones de la turbina A durante la fase de fabricación y la de disposición final fueron 23.95 gCFC-11<sub>eq</sub> y 21.55 gCFC-11<sub>eq</sub>, respectivamente (Figura 10) y para la turbina de B fueron 33.19 gCFC-11<sub>eq</sub> y 29.87 gCFC-11<sub>eq</sub> en las mismas fases (Figura 11). El PAO se refiere a la fracción de la radiación UV-B que llega a la superficie de la tierra [Martínez, et al., 2010a]. Como puede verse, la turbina eólica con el valor más alto de PAO en este caso es la B, lo que contribuye a un mayor deterioro de la capa de ozono. El PAO implica importantes riesgos a la salud humana debido al aumento a la exposición de radiación ultravioleta.

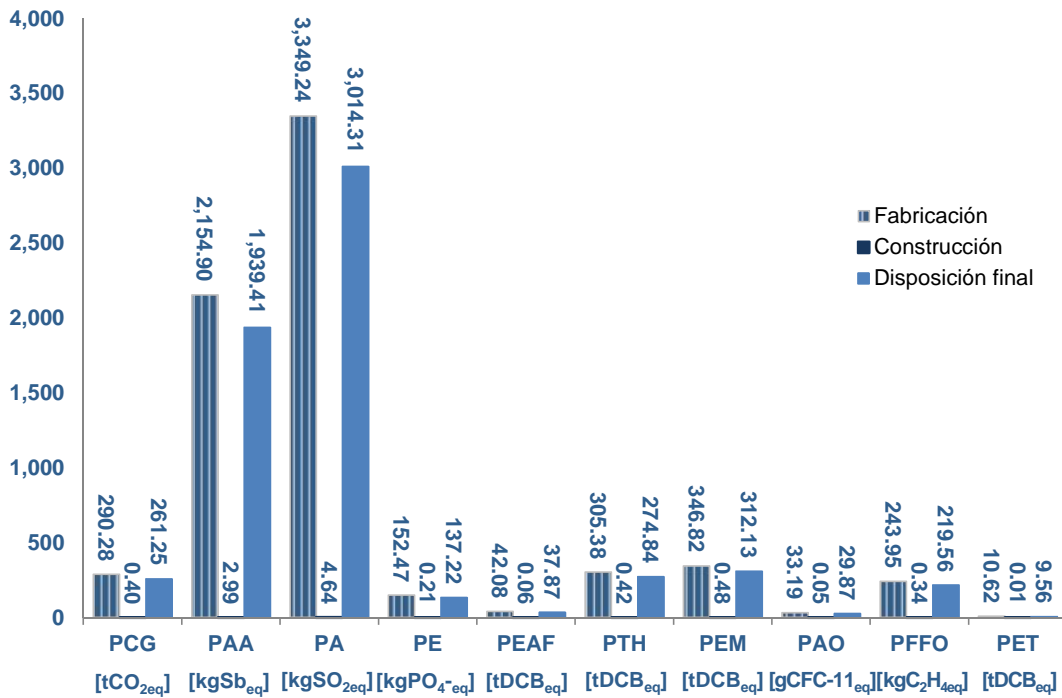


Figura 11. Contribución de las diferentes fases del ciclo de vida a los impactos en el aerogenerador B: fabricación, construcción y disposición final.

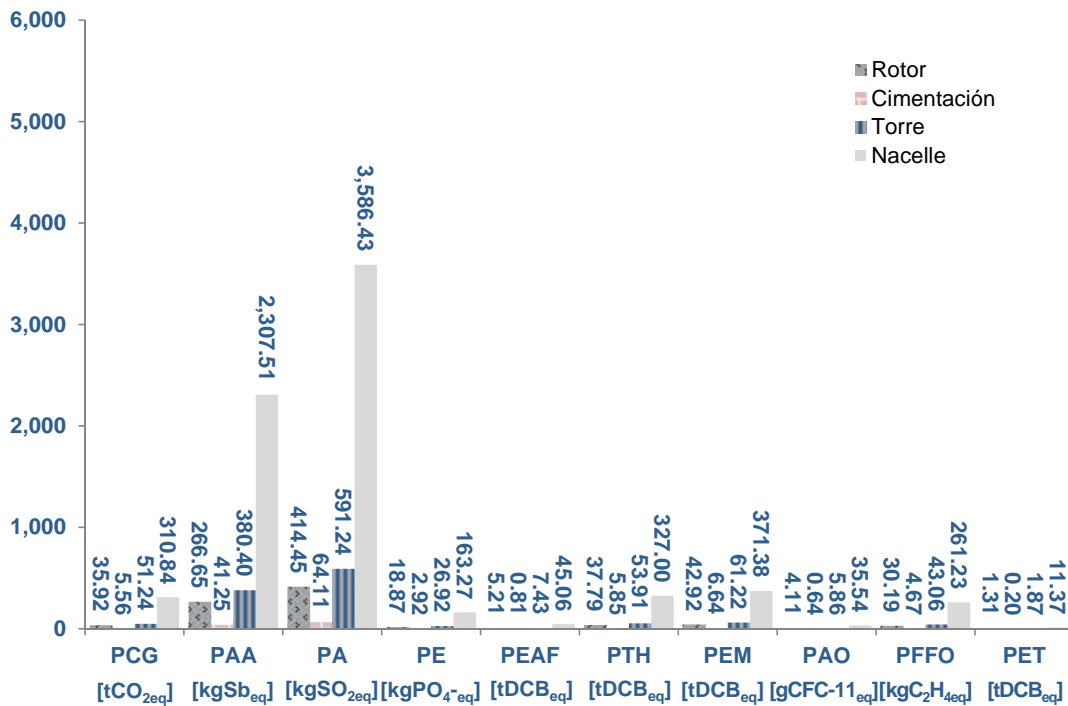
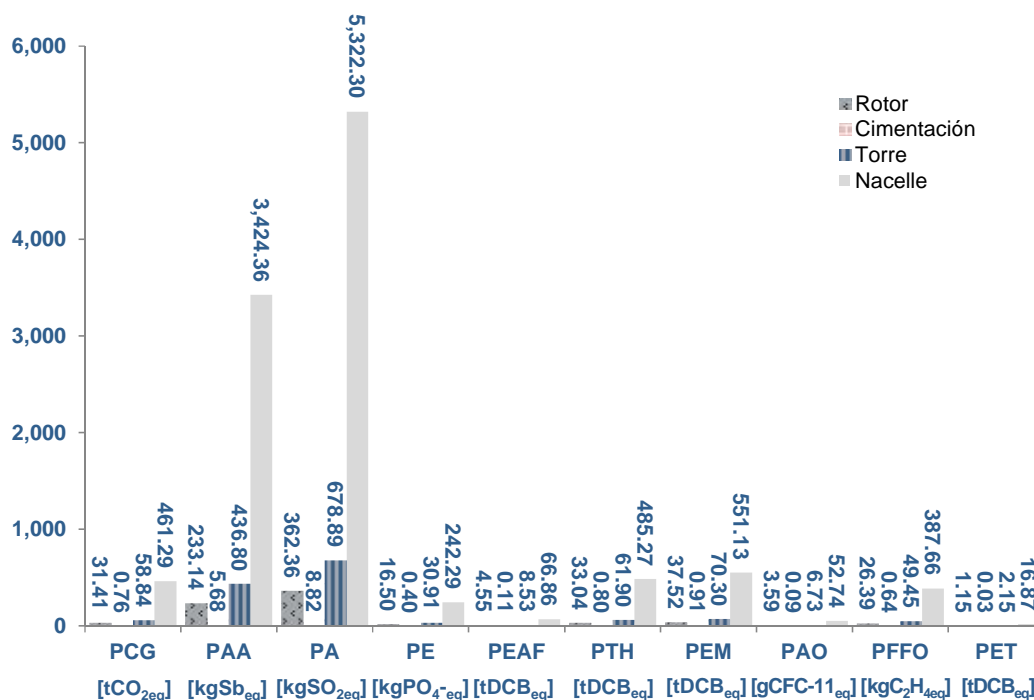


Figura 12. Contribución de las diferentes fases del ciclo de vida a los impactos en el aerogenerador A por componente: rotor, cimentación, torre y nacelle.



**Figura 13.** Contribución de las diferentes fases del ciclo de vida a los impactos en el aerogenerador B por componente: rotor, cimentación, torre y nacelle.

El PCG del aerogenerador A fue de 403.56 tCO<sub>2eq</sub> y de 551.94 tCO<sub>2eq</sub> para la turbina B (Figura 9). Durante las fases del Ciclo de Vida, los componentes con los mayores impactos ambientales fueron la nacelle (310.84 tCO<sub>2eq</sub> de la turbina A y 461.29 tCO<sub>2eq</sub> de la B) y la torre (51.24 tCO<sub>2eq</sub> del aerogenerador A y 58.84 tCO<sub>2eq</sub> del B), respectivamente (Figura 12 y Figura 13). En todos los casos, los componentes de la turbina eólica B requirieron más materiales que los de la A; esto podría explicar que los valores del potencial de calentamiento global del aerogenerador B hayan sido los mayores. En las tablas 1 y 2 del *Anexo VII* se puede observar que la turbina B demanda un mayor consumo de materiales y energía que la A; siendo este indicador una medida de cuánto una masa dada de GEI contribuye al calentamiento global [Guezuraga, 2012], entonces, el aerogenerador B tiene un factor de impacto superior al del A.

Se encontró que el potencial de toxicidad humana de la turbina A fue de 421.54 tDCB<sub>eq</sub> y de 580.64 tDCB<sub>eq</sub> para la turbina B (Figura 9). Las emisiones a la atmósfera en la fase de fabricación y disposición final fueron 220.37 tDCB<sub>eq</sub> y 198.33 tDCB<sub>eq</sub>, respectivamente para la turbina eólica A (Figura 10), y de 305.38 tDCB<sub>eq</sub> y 274.84 tDCB<sub>eq</sub> para la B en las mismas fases (Figura 11). El PTH se refiere a la exposición y efectos de las sustancias tóxicas. Estas sustancias podrían causar toxicidad aguda, irritación/efectos corrosivos, efectos alérgicos, daño orgánico irreversible, efectos cancerígenos, genotoxicidad, toxicidad para el sistema reproductivo, efectos teratogénicos, y neurotoxicidad [Stranddorf, et al., 2005]. Con base en los resultados obtenidos, la turbina eólica B representa mayores efectos adversos sobre la salud humana.

El potencial de ecotoxicidad del agua fresca del aerogenerador A fue de 58.11 tDCB<sub>eq</sub> y de 80.00 tDCB<sub>eq</sub> para el B (Figura 9). Durante las fases del Ciclo de Vida, los componentes con los mayores impactos ambientales fueron la nacelle (45.06 tDCB<sub>eq</sub> para la turbina A y 66.86 tDCB<sub>eq</sub> para la turbina B) y la torre (7.43 tDCB<sub>eq</sub> para el aerogenerador A y 8.53 tDCB<sub>eq</sub> para el B; Figura 12 y Figura 13, respectivamente).

Este parámetro refleja los impactos en los ecosistemas de agua dulce debido a las emisiones de sustancias tóxicas en el aire, el suelo y el agua [Martínez, et al., 2010a]. El inventario de la turbina eólica B contiene una mayor cantidad de materiales y energía, esta característica hace que los valores del PEAf sean más altos en todas las fases del ciclo de vida y en el análisis por componente.

El PEM estimado para la turbina A fue de 479.16 tDCB<sub>eq</sub> y para la B de 659.43 tDCB<sub>eq</sub> (Figura 9). Las emisiones a la atmósfera durante las fases de fabricación y disposición final fueron de 250.27 tDCB<sub>eq</sub> y 225.24 tDCB<sub>eq</sub>, respectivamente para el aerogenerador A (Figura 10), y de 346.82 tDCB<sub>eq</sub> y 312.13 tDCB<sub>eq</sub> para el B en las mismas fases (Figura 11). El potencial de ecotoxicidad marina se asocia con impactos en los ecosistemas marinos [Martínez, et al., 2010a]. Como en los casos previos, la turbina eólica B tiene valores más altos que la A, debido a que esta última requiere menos materiales y energía en la obtención sus componentes.

El potencial de ecotoxicidad terrestre del aerogenerador A fue de 21.66 tDCB<sub>eq</sub> y de 20.19 tDCB<sub>eq</sub> para el B (Figura 9). La turbina eólica A emite 7.66 tDCB<sub>eq</sub> durante la fase de fabricación y cerca de 6.90 tDCB<sub>eq</sub> en la de disposición final (Figura 10); en contraste, la turbina B emite 10.62 tDCB<sub>eq</sub> durante la fase de fabricación y 9.56 tDCB<sub>eq</sub> en la fase de disposición final (Figura 11). El PET es una medida del impacto en la calidad de los ecosistemas terrestres [Martínez, et al., 2010a; Tremeac, 2009]. Con base en los resultados obtenidos, la turbina eólica B tiene valores más altos de PET durante las fases de fabricación y disposición final eliminación que la turbina A

El valor del potencial de agotamiento abiótico del aerogenerador A es de aproximadamente 2.98 tSb<sub>eq</sub>, el de la turbina B fue de 4.09 tSb<sub>eq</sub>. (Figura 9). Durante las fases del Ciclo de Vida, los componentes con los mayores impactos ambientales son la nacelle (2.31 tSb<sub>eq</sub> de la turbina A y 3.42 tSb<sub>eq</sub> de la turbina B), la torre (0.38 tSb<sub>eq</sub> para la turbina A y 0.44 tSb<sub>eq</sub> para la B), y el rotor (0.27 tSb<sub>eq</sub> de la A y 0.23 tSb<sub>eq</sub> de la turbina eólica B; Figura 12 y Figura 13). El potencial de agotamiento abiótico indica el grado de protección del bienestar humano, así como la salud humana y del ecosistema. Está directamente relacionado con la extracción de minerales y combustibles fósiles [Greening, 2013; Martínez, et al., 2010a]. En general, el aerogenerador B tiene un PAA mayor que el A; en este punto es importante recordar que la turbina B requiere una mayor cantidad de materiales y energía en su fabricación.

Durante el Ciclo de Vida de los aerogeneradores, las emisiones de C<sub>2</sub>H<sub>4eq</sub> fueron de 0.33 tC<sub>2</sub>H<sub>4eq</sub> en el aerogenerador A y de 0.46 tC<sub>2</sub>H<sub>4eq</sub> en el B (Figura 9). El potencial de formación fotoquímica de ozono explica la formación de sustancias reactivas (principalmente de ozono), debido a la acción de la luz solar sobre los contaminantes del aire, estas sustancias causan daños a la salud humana y a los ecosistemas, también puede dañar los cultivos [Tremeac, 2009, Stranddorf, et al., 2005]. El aerogenerador B tiene un PFFO más alta que la turbina A.

El potencial de acidificación se estimó en 4.63 tSO<sub>2eq</sub> para la turbina eólica A, mientras que el de la B fue de 6.37 tSO<sub>2eq</sub> (Figura 9). El principal contribuyente a esta categoría de impacto en ambos aerogeneradores fue la nacelle, su valor fue 3.59 tSO<sub>2eq</sub> en el A y de 5.32 tSO<sub>2eq</sub> en la turbina B (Figura 12 y Figura 13). El PA está asociado con sustancias acidificantes que causan numerosos impactos sobre los organismos, ecosistemas y materiales, en el suelo y en aguas superficiales y subterráneas [Martínez, et al., 2010a]. El mayor contenido de materiales y uso de energía de la turbina eólica B implica un mayor valor total de PA en comparación con la A.

Finalmente, el potencial de eutroficación determinado en la turbina A fue de 0.21 tPO<sub>4eq</sub><sup>-</sup> y de 0.29 tPO<sub>4eq</sub><sup>-</sup> en la B (Figura 9). La mayor contribución a esta categoría de impacto la tiene la nacelle de ambas turbinas; el PE en el aerogenerador A fue de 0.16 tPO<sub>4eq</sub><sup>-</sup> y el del B fue 0.24 tPO<sub>4eq</sub><sup>-</sup> (Figura 12 y Figura 13). El PE se asocia con todos los impactos ambientales debidos las altas concentraciones de macronutrientes que son liberados al suelo, al aire y al agua. Los nutrientes directamente relacionados con esta categoría de impacto son el nitrógeno y el fósforo [Martínez, et al., 2010a]. Estos resultados, en relación con la cantidad de materiales y energía utilizados en la elaboración de cada aerogenerador mostraron que el valor del PE de la turbina B excede el de la A.

En la literatura existen diversos estudios de ACV de turbinas eólicas. Sin embargo, no es posible hacer una comparación directa debido a los diferentes supuestos que son hechos, incluyendo el tamaño, la capacidad, los materiales y la electricidad utilizada en el Ciclo de Vida de las turbinas, las regiones geográficas e incluso las metodologías empleadas en la estimación de los impactos ambientales [Greening, 2013]. Por ejemplo, sólo en la categoría de impacto potencial de calentamiento global (PCG), se encontraron diferentes valores para aerogeneradores con una potencia nominal de 3.0 MW [Crawfor, 2009] y 250 watts [Tremeac, 2009], que van desde 5,530 tCO<sub>2eq</sub> a 0.11 tCO<sub>2eq</sub>, esto es 3,692.1 tCO<sub>2eq</sub> fuera de rango para una turbina de 4.5 MW [Tremeac, 2009]. Si bien el PCG estimado en este estudio de caso de un aerogenerador de 2.0 MW de potencia cae en el rango entre 403 tCO<sub>2eq</sub> (turbina A) y 552 tCO<sub>2eq</sub> (turbina B), el valor es comparable con las 578 tCO<sub>2eq</sub> de turbinas de 1.8 MW [Guezuraga, 2012], pero completamente diferente a las 1,164 tCO<sub>2eq</sub> de un aerogenerador de 2.0 MW [Guezuraga, 2012].

Lo anterior sugiere que no hay relación aparente entre los impactos ambientales y el tamaño de la turbina en términos de materiales y electricidad utilizados en el ACV. Al igual que en otro tipo de estudios de estudios de ACV en donde la comparación de los impactos ambientales de las turbinas eólicas es por kWh de electricidad suministrada, los resultados han mostrado valores discordantes en aerogeneradores diferentes y similares [Greening, 2013].

### 4.3 CONCLUSIÓN

La metodología del Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta útil en la evaluación de los impactos ambientales implicados en la fabricación de los productos que son utilizados en la vida diaria. En este estudio es posible incluir todas las etapas que se consideren convenientes con el fin de obtener resultados lo más apegados a la realidad posible. Los resultados dan la oportunidad de elegir entre varias opciones a aquella con menores efectos al ambiente.

También, gracias a los datos obtenidos, es posible elegir los materiales y los procesos menos intensivos energéticamente; se puede considerar, a su vez, una etapa de reciclaje de productos que, en la práctica, permita reducir cada vez más la extracción de materias primas y la reducción de residuos que van a parar a rellenos sanitarios (en el mejor de los casos), logrando un producto o servicio menos contaminante y sustentable.

Cada categoría de impacto representa un efecto en el ambiente, en la salud humana, en la disponibilidad (agotamiento) de los recursos, en el uso del agua y del suelo que tendrá consecuencias a nivel local,

regional, o global. De ahí la importancia de que cada uno de sus potenciales sean determinados. Cabe destacar que los resultados de un ACV pueden ser interpretados en el ámbito ambiental, en el económico y también en el social.

En este capítulo se presentaron los resultados del análisis del Ciclo de Vida de dos aerogeneradores de 80m de diámetro y 2MW de capacidad, modelos que son de los más utilizados en el país para la generación de energía eléctrica.

Los resultados del ACV permitieron hacer una comparación entre las turbinas y argumentar la selección de un aerogenerador sobre el otro. El estudio de caso mostró que los componentes con mayores impactos en el ambiente son la nacelle y la torre en ambos diseños de aerogenerador. Se estimó que la turbina eólica A tiene menores impactos ambientales que la turbina B en las fases de fabricación y disposición final. Por ejemplo, el PCG de la turbina A es casi un 27% menor que el de la turbina B. Al parecer, las cantidades y el tipo de materiales que integran a ambos aerogeneradores y sus componentes (especialmente la nacelle y la torre), son la causa principal del incremento en los impactos ambientales.

Por ejemplo, la nacelle de la turbina eólica A utiliza una cantidad 26.82% menor de materiales que la turbina B (se trata principalmente de componentes metálicos) y la torre de la turbina A utiliza 12.80% menos materiales (como el acero) que la turbina B. De acuerdo con los resultados del estudio, el uso de menos materiales en la fabricación y en los componentes de los aerogeneradores podría representar una oportunidad de mejora del diseño. Este análisis puede ser de utilidad a los tomadores de decisiones en la producción comercial de turbinas eólicas en México; por ejemplo, para identificar aquellos materiales que podrían ser sustituidos o minimizados con el fin de reducir los impactos ambientales de los aerogeneradores y el uso de materiales que son menos intensivos en energía durante la fabricación.

En general, la reducción de los impactos ambientales de las turbinas puede facilitar la innovación tecnológica y la producción de tecnologías sustentables a base de fuentes renovables en México.

Por otra parte, la fabricación de los componentes de las turbinas eólicas en México podría implicar la generación de una cantidad menor de daños en algunas de las categorías de impacto (por el transporte), comparadas con las que son emitidas en sus países de origen, lo que no sólo da como resultado la disminución de emisiones contaminantes sino la generación de fuentes de empleo que, a la par trae consigo el incremento del nivel de vida de los pobladores, fomentará el cambio de la matriz energética y la disminución paulatina de gases contaminantes por concepto de generación eléctrica.



---

---

## 5 FACTORES ECONÓMICOS Y SOCIALES RELACIONADOS CON LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO.

### INTRODUCCIÓN

Con el paso de los años, los costos de la tecnología eólica han ido en decremento. Se ha logrado la construcción de generadores de mayores dimensiones y capacidades, cada vez, con menores costos. Esta tecnología ha sido la que mayor expansión ha tenido en los últimos años. Se encontró que en las últimas dos décadas la variación en el tamaño y potencia de una turbina ha sido importante provocando que, el costo de la energía eólica presentara un decremento estimado en un 90%. Se espera que con el avance en las investigaciones y el desarrollo de materiales, así como con la implementación de nuevas tecnologías, se incrementen los volúmenes de producción y los costos disminuyan aún más. Durante el 2012 la capacidad adicionada anual de generación de energía eólica fue de 44.8 GW, con ello se logró una capacidad total acumulada de 282.5 GW a nivel mundial [Romero Hernández, et al., 2011].

Pero ¿qué factores son los que influyen directamente en el encarecimiento de la tecnología? ¿Depende únicamente de la cantidad de energía que se puede llegar a general a partir del potencial que ha sido estimado previamente a la construcción del campo eólico? Con base en la experiencia generada por los principales países desarrolladores de investigación eoloeléctrica a través de los años se contesta de manera breve a estas interrogantes.

Una investigación realizada con datos de generadores eólicos de gran escala (>50 kW) recopilados de instituciones educativas, asociaciones eólicas y centros de investigación de los Estados Unidos, Canadá y Europa, mostró que los principales factores que influyen en los costos de un proyecto principalmente son [Romero Hernández, et al., 2011]:

- La madurez de la tecnología
- Las dimensiones del proyecto
- Tipo de equipo seleccionado
- Condiciones geográficas y topográficas del sitio del proyecto
- Condiciones políticas, regulatorias y sociales
- Los parámetros financieros
- La velocidad del viento.

En el Istmo de Tehuantepec se destinaron 2,616 millones de dólares a la compra de 1,269 turbinas eólicas (914 de Vestas -Dinamarca-, 58 de Clipper -EEUU-, 317 de Acciona y 426 de Gamesa -España-), cuyos componentes son fabricados en su mayor parte en los países mencionados y tienen un bajo porcentaje producido en México [Juárez-Hernández y León, 2014].

Por otro lado, cuando se habla de la construcción de un proyecto eólico únicamente se da a conocer la capacidad de generación, la producción anual esperada, la inversión requerida, la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> que se evitarán con su operación o el número de turbinas con las que contará el campo eólico pero poco se habla de los beneficios sociales que su construcción acarreará o del descontento de los pobladores de las regiones en las que dicho campo se erigirá.

Son numerosos los aspectos sociales que están en juego durante el desarrollo de un proyecto, por lo que es de sumo interés lograr que los beneficios recaigan por igual en desarrolladores del proyecto y los habitantes dueños de las tierras y otros consumidores. Al final, el efecto (integral) se reflejará en el incremento del nivel de vida de la población, el incremento en los beneficios económicos por uso de tecnologías más limpias de generación de electricidad y mejoras en el ambiente, principalmente por la disminución de la concentración de GEI.

Cabe destacar que hay autores que precisan la existencia de cierta dificultad en la ‘separación’ de la componente social de la componente económica por estar íntimamente ligadas. Sin duda incluir la dimensión social y económica (socioeconómica) en un análisis de los efectos que trae consigo el desarrollo de un nuevo proyecto refleja el interés en una producción más responsable. No obstante, la falta de información completa, y en el caso de México, regionalizada implica el uso de datos secundarios o poco confiables que en su mayoría son cualitativos. Por ejemplo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP por sus siglas en inglés) desarrolló una metodología mediante la que es posible realizar un Análisis de Ciclo de Vida social, S-LCA, (o económico, C-LCA).

En los siguientes párrafos se mostrarán las principales ideas de las metodologías mencionadas y se complementarán con otras consideraciones útiles en la determinación de los impactos sociales de un proyecto dado.

## 5.1 FACTORES ECONÓMICOS

Según Borja [Borja Díaz, et al., 1998] el precio de compra de la energía eoloeléctrica es cuestión de política energética y de la situación del mercado de la energía de cada país. El costo de la energía eoloeléctrica depende del proyecto específico y es sensible a varios factores, como lo son el régimen de viento en el sitio de instalación de la central, el grado de dificultad para la construcción, operación y mantenimiento, la distancia respecto al punto de interconexión con la red eléctrica convencional, el costo y comportamiento de los aerogeneradores utilizados, la infraestructura disponible (vías de acceso), el costo del terreno (renta o venta), así como de las condiciones de financiamiento del proyecto. Dependiendo del proyecto, el costo de los aerogeneradores representa entre el 60 y 70% del costo total de inversión. Los aspectos a considerar para determinar el costo de generación eólica de electricidad (\$/kWh) son los siguientes [IEA, 2011]:

- 1) Tiempo de vida del proyecto
- 2) Costo capital
- 3) Costo capital al año
- 4) Precio de las turbinas, cimientos, vías de acceso, construcción, etc.
- 5) Costo total por año
- 6) Turbinas eólicas e instalación
- 7) Operación y mantenimiento
- 8) Diámetro del rotor, altura respecto al eje, y otras características físicas
- 9) Producción anual de energía
- 10) Velocidad promedio del viento + características del sitio.
- 11) Precio del costo de adquisición de la tierra o la renta de la tierra

Considerando los factores anteriores, la IEA hacia Marzo del 2011 obtuvo los costos nivelados (LCOE, por sus siglas en inglés), que son una medida primigenia para describir y comparar los costos de la energía eólica de país en país (Tabla 14). De manera que esta medida es la suma de todos los costos durante todo el tiempo de vida de un proyecto eólico dado, para distintos países [IEA, 2011].

**Tabla 14:** Costos de generación eólica por país.

País	LCOE (USD/MWh)
<b>Suiza</b>	167
<b>Holanda</b>	131
<b>Alemania</b>	118
<b>España</b>	115
<b>Suecia</b>	93
<b>Estados Unidos</b>	91
<b>Dinamarca</b>	85

**Fuente:** IEA, 2011.

Las diferencias de costos entre, por ejemplo Suiza y Dinamarca, están dadas principalmente por los subsidios existentes en estos países, así como por el proceso mismo de generación de la energía (régimen de viento, selección del sitio, diseño de la turbina eólica) entre otros factores.

Del 2005 al 2009 los precios de las turbinas se incrementaron en respuesta al crecimiento de la demanda mundial, el aumento de los costos de los materiales y otros factores; desde entonces se han incrementado tanto la escala como la eficiencia, mejorándose los factores de capacidad y reduciéndose los costos de los generadores, así como los de operación y mantenimiento. El exceso de oferta en los mercados mundiales ha reducido aún más los precios, beneficiando a los desarrolladores por las mejoras en la competitividad de los costos de la energía eólica con respecto a los combustibles fósiles. Sin embargo, la creciente presión tendiente a la baja en los precios y el aumento de la competencia entre fabricantes, la baja en el precio del gas, así como la reducción en el apoyo de políticas debido a la austeridad económica han puesto en riesgo a la industria [REN21, 2013].

Los costos actuales de la tecnología eólica terrestre le permiten ser más competitiva con respecto a cada kWh generado en las nuevas plantas a carbón o gas, incluso sin esquemas compensatorios, en varios mercados (incluyendo Australia, Brasil, Chile, México, Nueva Zelanda, Sudáfrica, Turquía, gran parte de la UE, y algunos lugares de la India y los Estados Unidos). Según una estimación, los costos nivelados mundiales por MWh de energía eólica terrestre disminuyeron en un 15% entre 2009 y principios del 2014 mientras que los costos de esta tecnología costa afuera se incrementaron al aumentar las profundidades al fondo de anclaje y la distancia de la costa [REN21, 2014].

En los últimos años, los costos capitales de la energía eólica han disminuido, principalmente por el aumento de la oferta existente, mientras que los avances tecnológicos (torres más altas, aspas más largas y generadores pequeños para áreas de baja velocidad de viento) han aumentado los factores de planta. Todo lo anterior ha contribuido a que los costos de la eolelectricidad sean menores, mejorando la competitividad de sus costos frente a los combustibles fósiles [REN 21, 2014].

El mejor año para esta tecnología fue el 2008 pues los precios bajaron entre un 20% y un 25% en occidente, siendo en China la caída de precios superior al 35% antes de que en el año 2012 se estabilizaran. Los precios de operación y mantenimiento de los parques eólicos también disminuyeron de manera importante por la mayor competencia entre constructores y al mejor funcionamiento de las turbinas. Por ello, el costo de la tecnología eólica en tierra es ahora más competitivo o menor en algunos mercados que el kWh de la energía eléctrica convencional de origen fósil en la mayoría de los casos (incluyendo algunos lugares de Australia, la India y los Estados Unidos). La energía eólica costa afuera sigue siendo al menos dos veces más cara que en tierra [REN21, 2013].

### 5.1.1 Costos de inversión

Una vez que se cuente con estudios de factibilidad del proyecto, la evaluación del potencial eólico del sitio (o los sitios) en el que se planea ubicar el campo eólico, así como las características de la construcción, se podría hacer un estimado de los costos de inversión que tendría este proyecto.

Los costos de inversión de la energía eólica tierra adentro (incluyendo turbina, conexión a la red eléctrica, infraestructura e instalación) actualmente se encuentran entre 1,100 US\$/kW y 2,600 US\$/kW. Por su parte, los costos de inversión de energía eólica costa afuera pueden llegar a incrementar dos o tres veces su costo con respecto a las instalaciones tierra adentro y van desde los 3,600 US\$/W a los 5,600 US\$/kW [SENER, 2013b].

La SENER indicó que el costo nivelado de la energía eólica está en función directa de la calidad del viento, el costo de inversión, los requerimientos de operación y mantenimiento, los costos capitales y de las mejoras tecnológicas asociadas a altos factores de capacidad. Por otro lado, ya es posible la construcción de equipos con mayores alturas y rotores capaces de capturar mayor energía, no obstante, se incrementa con ello su costo de inversión. De acuerdo al reporte de la Agencia Internacional de la Energía 'Technology Roadmap, Wind Energy 2013', el costo nivelado de energía eólica se ha reducido en la última década en un 39% para instalaciones tierra adentro con vientos de hasta 6 m/s y de 24% para instalaciones con viento de 8 m/s. El rango del costo nivelado se encuentra aproximadamente entre 30 y 55 US\$/MWh. En el futuro, estudios sugieren que el costo nivelado de energía eólica se reduzca hasta en un 40% en el año 2030 [SENER, 2013b].

A principios de 2014, el costo nivelado de la energía eólica costa afuera era casi de 240 USD/MWh (172 €/MWh), pero el potencial para reducir los costos integrales mediante la reducción de los costos financieros del Ciclo de Vida es importante [REN21, 2014].

Por su parte Romero Hernández, et al., (2011) con base en la información de la Asociación Europea de Energía Eólica estimaron que los costos asociados con una turbina eólica de 2 MW se encuentran distribuidos de la siguiente forma:

**Tabla 15:** Distribución de los costos asociados a una turbina eólica de 2 MW.

Concepto	Costo total (%)
Aerogeneradores	75.6
Interconexión	8.9
Cimentación	6.5
Renta del terreno	3.9
Instalación eléctrica	1.5
Consultoría	1.2
Construcción de vías	0.9
Sistemas de control	0.3

**Fuente:** Romero Hernández, et al., 2011.

Se puede apreciar que el mayor porcentaje pertenece al costo del aerogenerador. Con esta información se logra vislumbrar el amplio margen de operación que se puede llegar a tener conforme se avance en cuanto a la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías eólicas, ya sea respecto a la creación de nuevos y mejores materiales con mejor desempeño, más eficientes, de menor peso y más resistentes, diseñados de acuerdo a los requerimientos y según el potencial existente en la zona en la que se desea implementar el proyecto.

El caso de México es privilegiado por contar con los mejores potenciales del planeta; sin embargo, hay pocos campos eólicos en comparación, lo que dificulta la obtención de datos técnico y a diferencia de otros países, el costo de la mano de obra es menor.

En resumen: la experiencia ha mostrado que los costos de inversión en USD/kW influyen en el precio de la energía; por eso, se deben buscar bajos costos de instrumentación para que el proyecto en su conjunto sea rentable [Romero Hernández, et al., 2011].

### 5.1.2 Optimización del área del proyecto

La optimización del proyecto depende del tipo de terreno y condiciones, las vías de acceso al campo eólico y la topografía. Hay terrenos en los que las turbinas eólicas pueden estar alineadas y en otros no es posible. Este ordenamiento va de acuerdo a las características del lugar que marca diferentes patrones de viento, por ejemplo.

Antes de llevar a cabo un proyecto (de cualquier tipo) se debe estudiar el terreno con el fin de que, posteriormente la tecnología disponible tenga un desempeño lo más eficiente posible. Este punto evidencia la necesidad de los estudios de prefactibilidad del proyecto, ya que la información que se recaba en esa etapa da indicios de, por ejemplo, el tipo de turbina que se usará (altura de torre, diámetro del rotor), velocidades y perfiles de viento, por mencionar algunos. De esta manera se obtiene la distribución y separación que cada turbina deberá guardar respecto a otra y es posible diseñar la configuración que resulte más eficiente en cuanto a la cantidad de energía generada.

### 5.1.3 Costos de generación de la energía

Los costos de generación, como se ha mencionado con anterioridad, dependen de diversos factores. Los de mayor importancia son [Romero Hernández, et al., 2011]:

- Velocidad del viento (potencial eólico del sitio y su perfil).
- Características del generador eólico (aspectos que tienen que ver con la tecnología).
- Tamaño de la granja de viento.
- Optimización del área del proyecto (elemento asociado a las condiciones del terreno).
- Costos del financiamiento (situación financiera nacional y global).
- Costos de transmisión (regulaciones y tarifas de la empresa eléctrica).
- Incentivos.
- Otros factores que pueden ayudar a mejorar la competitividad de la energía eólica.

Hacia la década de los 90's el costo de fabricación de las turbinas eólica decayó en un 20% mientras que la cantidad de aerogeneradores se duplicaba. Ya en el año 2002 la producción a gran escala y las turbinas eólicas conectadas a la red se habrían duplicado cada tres años; en este punto, la reducción en los costos llegó a ser de hasta un 25% y se prevé una reducción del 50% al 2020 [Ackermann y Söder, 2002].

La energía que genera el equipo se relaciona directamente con la velocidad del viento, es decir, a mayor potencial, menor costo pues se estará generando más energía. También a mayor altura de la torre se puede tener un mayor tamaño de aspas, lo que implica un mayor diámetro de barrido<sup>7</sup>, en consecuencia los costos se reducirán considerablemente. En la Tabla 16 se muestra la comparación entre los precios de 1981 y los de 2006 [Romero Hernández, et al., 2011].

**Tabla 16:** Evolución en los precios según el tamaño del aerogenerador.

Potencia nominal	1981 25 kW	2006 1,650 kW
Diámetro (m)	10	71
Costo (miles USD)	65	1,300
Costo por kW	2,600	790
Producción kWh/año	45,000	5.6 millones

**Fuente:** Romero Hernández, et al., 2011.

En un ejercicio de economías a escala presentado por Romero Hernández, et al., mostró que para una velocidad promedio de viento de 7 m/s, el precio de la electricidad producida por un parque eólico de 3 MW sería de USD 0.059/kWh y que en otro de 51 MW el costo de generación sería de USD 0.036/kWh, 40% menor. Los costos tienden a ser menores en proyectos a gran escala ya que suelen tener costos de operación y mantenimiento menores por kWh. [Romero Hernández, et al., 2011].

<sup>7</sup> El área de barrido del rotor de una turbina es una función cuadrática de la longitud de las palas.

En estudios anteriores se reportaron tiempos de retorno de la inversión que van de 2 a 20 meses para velocidades de viento 4.5 m/s, 5.5 m/s y 6.5 m/s, siendo esta última la de menor tiempo de recuperación (2-8 meses, *Anexo III.i Tiempo de retorno vs emisiones evitadas*) [Ackermann y Söder, 2002].

No obstante, se ha encontrado que el financiamiento de los proyectos eólicos es uno de los más costosos para la generación de electricidad. Romero Hernández también señala el antecedente de 1996 que indicaba lo siguiente: ‘*Los estudios del Laboratorio Lawrence Berkeley (LBL) señalan que una granja de viento de 50 MW genera energía a un costo de USD 0.05/kWh, mientras que, si recibiera financiamiento como si fuera un proyecto de generación con base en gas natural, el costo de la energía sería de USD 0.0369/kWh*’ [Romero Hernández, et al., 2011].

En la Prospectiva del Sector Eléctrico 2014-2018 se indica el costo unitario de generación de electricidad en la CFE, según el tipo de combustible. En la Tabla 17 se presentan los datos en pesos por MWh.

**Tabla 17:** Costos unitarios de generación de energía eléctrica en la CFE, 2013.

Concepto	Costo unitario, 2013 (\$/MWh)
Termoeléctrica	1,442.5
Turbogas y ciclo combinado	937.3
Diésel	0.0
Vapor	2,349.3
Carboeléctrica y dual	1,019.4
Geotermoeléctrica	591.7
Eoloeléctrica	1,458.1
Nuclear	839.5
Hidroeléctrica	1,046.1

**Fuente:** SENER, 2014c.

Ruhul Kabir, et al., (2012) realizaron un estudio con el fin de conocer los factores que influyen en los costos de la generación eólica en Canadá. Se consideran parámetros como el costo capital, los costos por concepto de operación y mantenimiento (O&M) y el costo implicado en el paro técnico, el costo de reciclaje o disposición final de los materiales, la inflación, la tasa interna de retorno (TIR); no se considera la renta del terreno ni el interés por el pago un capital. En la Tabla 18 se muestran los conceptos que consideraron de mayor interés en un análisis económico de la eoloelectricidad [Ruhul Kabir, Md., et al., 2012].

Sin embargo, dentro de los parámetros mencionados se hace a un lado la propiedad del terreno y se contempla una etapa de recuperación y disposición final de materiales y componentes. En México, la posesión de las tierras con mayor potencial de generación es de comuneros y ejidatarios. En lo referente al reciclaje y confinamiento de los materiales que componen al aerogenerador, debido a que la vida media de las turbinas que integran los campos eólicos mexicanos aún no ha llegado a su fin, es difícil conocer si este concepto es incluido o no en los proyectos actuales de generación.

Ruhul Kabir, et al., también encontraron que la generación eólica a pequeña escala no es una opción económicamente atractiva, como es mundialmente sabido y que usualmente sólo es considerada cuando el costo de la electricidad no es un incentivo para considerar la instalación. No obstante, manteniendo las ventajas ambientales en mente, y las ventajas económicas que pueden producirse por los incentivos de emisión, la propuesta puede ser efectiva [Ruhul Kabir, Md., et al., 2012].

**Tabla 18:** Datos de entrada y supuestos para el análisis económico.

Parámetros	Comentarios/observaciones
Costo capital	Se incluye la compra y el transporte (entrega) del aerogenerador y el costo de la cimentación.
Costo de O&M	Se asume como el 2.5% del costo de la turbina y depende de la tecnología utilizada (capacidad y modelo). Se incluye la operación, el mantenimiento regular, la reparación y el costo del seguro.
Costo del reciclaje y de disposición final	Incluye el costo de reciclaje, el transporte de residuos y el depósito en vertederos.
Disponibilidad de la turbina	Se asume como 97% debido al probable cese de operaciones durante el mantenimiento
Tasa de inflación	Asumida como el 2% sobre la base de los últimos 8 años la tasa de inflación promedio de Canadá.
Tasa interna de retorno (TIR)	Se han desarrollado escenarios para una TIR del 10% y del 15%.
Interés	Se ha supuesto que se invierte 100% del capital, por lo que el proyecto no generará intereses.
Otros	Hay acceso al campo eólico propuesto de manera que se ignora el costo de construcción de accesos por carretera. No se incluye el costo de conexión a la red. En este estudio se asume que los terrenos requeridos en la instalación del campo eólico son propiedad del inversionista, lo que elimina costos por concepto de renta.

**Fuente:** Ruhul Kabir, Md., et al., 2012.

En 2013 se encontró que una de las tecnologías de generación de electricidad a través de fuentes renovables que es de las más competitivas y cuyos costos han ido en decremento con el paso de los años es la eólica. Por un lado, comparando la eólica contra el ciclo combinado (CC), el costo nivelado de generación durante el período 2010-2020 de la primera irá en decremento, mientras que el costo de la generación con ciclo combinado estará en función directa de los precios del combustible así como de la inflación. Por otro lado, los campos eólicos que posean factores de planta de entre 40% y 45% representan ya una opción adecuada frente al cambio climático [WWF, et al., 2013].

Se ha estimado un costo nivelado total de la energía eléctrica generada mediante turbinas eólicas en el istmo de Tehuantepec de 4.5 ¢USD/kWh al que, sumando el costo del porteo alcanza los 6.5 ¢USD/kWh (0.85 \$/kWh) [Juárez-Hernández y León, 2014].

No obstante lo anterior, se debe recordar que los costos de producción son distintos en cada país, ello principalmente debido a que son en función directa de los recursos disponibles, condiciones fiscales y precios de la electricidad según la tecnología y combustibles empleados, entre otros.



Por otra parte, Weidema (2005) indica que la evaluación económica se centra en la productividad humana, la productividad biótica, así como en el capital natural y humano; estos aspectos pueden ser medidos en unidades monetarias. Los indicadores económicos serán de utilidad para conocer los impactos globales de las actividades humanas en la carga ambiental, en términos de productividad y el producto económico bruto actual [Weidema, 2005].

## 5.2 ASPECTOS SOCIALES DE LA GENERACIÓN EÓLICA EN MÉXICO

Se define a la evaluación del impacto social como el proceso de evaluación o estimación, por adelantado, de las consecuencias sociales que pueden derivarse de acciones específicas de política o de desarrollo de proyectos, en particular en el contexto de medidas de carácter nacional, estatal o legislación municipal de política ambiental. Los impactos sociales incluyen todas las consecuencias sociales y culturales en la población humana de cualquier acción pública o privada que alteren la forma en la que las personas viven, trabajan, juegan, se relacionan entre sí, se organizan para satisfacer sus necesidades, y cómo se relacionan como miembros de la sociedad. Los impactos culturales implican cambios en las normas, los valores y creencias de los individuos que guían y racionalizan su conocimiento de sí mismos y su sociedad [Burdge, 1996].

### 5.2.1 Consideraciones principales

Una vez que las implicaciones ambientales y económicas fueron detectadas y evaluadas, es necesaria la evaluación de los aspectos sociales involucrados en el desarrollo de un proyecto. No obstante la importancia de lograr evaluar las distintas variables que interfieren, la tarea es difícil pues se trata de factores que son complejos y subjetivos, propios de cada sistema a analizar. El estudio de los factores sociales está en función de las variables propias de la región en que se encuentre el sistema de estudio. Por tal motivo, es inadecuado evaluar de la misma manera una actividad que se realiza en lugares diferentes; se hace necesario ‘regionalizar’ el estudio para obtener una estimación lo más cercana a la realidad posible.

La subjetividad de los impactos sociales estriba en que están en función de varios factores, a saber: política, economía, ética, psicología, aspectos legales, culturales, etc. En primera instancia, el conocimiento de las implicaciones sociales debe considerar los siguientes aspectos propios del lugar en el cual se fabrica el producto (en este caso, la eolelectricidad) a manera de regionalizar el estudio [UNEP, 2009]:

- 1) Trabajadores/empleados
- 2) Comunidad local
- 3) Sociedad (nacional y mundial)
- 4) Clientes (incluyen consumidores finales, así como a los consumidores que forman parte de cada paso de la cadena de suministro) y
- 5) Actores de la cadena de valor

El conocimiento y evaluación de la mayor parte de los factores de tipo social relacionados con un proyecto contribuyen a la mejora del nivel de vida de la población, mediante diálogos entre las partes interesadas, los tomadores de decisiones y los comisionados del estudio. Se debe alentar la participación de los interesados teniendo en cuenta los medios disponibles para la investigación.

Es importante considerar los factores que intervienen en la evaluación del/los impacto(s) de cada una de las etapas de la obtención de la energía eléctrica, por ejemplo, insumos para la construcción/fabricación de la turbina eólica, selección del terreno en el que se instalará, cambio de uso de suelo, rutas de acceso, cercanía con la red de transmisión de electricidad -interconexión-, comunidades aledañas, nivel económico de la población colindante, posibles beneficios a la comunidad, generación de empleos -beneficios sociales-, entre otros. Considerando todos estos factores, propios del sitio de la construcción, la información así obtenida representará las externalidades y los impactos positivos correspondientes a la obtención de electricidad, por medio de generación eólica en México.

Conocer las implicaciones sociales presenta diversas dificultades como la subjetividad que trae consigo esta evaluación, por lo que es preciso consultar a expertos en el tema, lo que pone de manifiesto la necesidad de contar con bases de datos con información social y socioeconómica, así como la creación de instrumentos que faciliten el proceso [UNEP, 2009].

Durante la puesta en marcha de cualquier tipo de proyecto, fabricación u obtención de satisfactores, o producción de bienes o servicios, se generan afectaciones, tanto al ser humano, como a su entorno; he ahí la importancia de cuantificar los beneficios y los daños relacionados a la actividad humana.

Weidema sugiere, con base en la metodología de evaluación de impactos SETAC/UNEP, centrar la atención en las siguientes categorías [Weidema, 2005]:

- ✓ Esperanza de vida
- ✓ Salud
- ✓ Autonomía
- ✓ Seguridad y tranquilidad
- ✓ Igualdad de oportunidades
- ✓ Participación e influencia

Finalmente, dentro del estudio, se deberán tomar en cuenta los ‘coproductos’ propios del proceso de producción de la eoloelectricidad; posiblemente, y de manera superficial, podría considerarse a la cadena productiva incluida en la generación de electricidad por medio del viento como generadora de empleos y mejoradora de las condiciones sociales y económicas de las poblaciones aledañas a la posible construcción de un parque eólico pues es de esperarse que se creen fuentes de empleo, se mejoren (o construyan nuevas) vías de acceso, que traerá como consecuencia, entre otros factores, nuevos asentamientos de pobladores que demandarán servicios de salud, educación y alimentos, entre otros.

### 5.3 ENFOQUE SUSTENTABLE DE LA GENERACIÓN EÓLICA EN MÉXICO

Los principales efectos sociales debidos a la generación eólica que se reporta en la literatura son muerte de aves y murciélagos; posible pérdida de hábitat de otras especies silvestres; contaminación acústica y por vibraciones en comunidades cercanas; efectos adversos en el paisaje; posibles efectos adversos en la fauna marina debidos a los parques eólicos costa afuera; posibles cambios climáticos debido a la implementación a gran escala [Moriarty y Honnery, 2012].

En México el régimen de posesión de la tierra, ya sea ejidal o comunal, es un punto en contra del desarrollo de la energía eólica, haciéndose necesario establecer contratos entre los diferentes dueños, tarea que por esta misma razón ha sido difícil y obstaculiza la proliferación de los campos eólicos. No obstante, existen aún más inconvenientes.

Como ya se ha mencionado, en México se encuentran dos zonas con recurso eólico importante: La Rumorosa, en Baja California y la Ventosa, en Oaxaca. Las condiciones sociales en ambos sitios distan mucho de ser similares pues mientras en La Rumorosa los proyectos eólicos son aceptados por la población, en el estado de Oaxaca se presenta descontento ante los proyectos. En el caso de Baja California, los desarrolladores buscaron la participación de la población en el proyecto y ésta ha visto beneficios por la puesta en marcha de éste. En Oaxaca los pobladores no han visto reflejado algún beneficio en su favor y el grado de pobreza continúa sin cambios, poco han percibido las ganancias logradas en sus tierras con rentas miserables.

Por ejemplo, en la región sur (Istmo de Tehuantepec) existe un creciente rechazo a la construcción de campos eólicos, debido a la disparidad entre los beneficios de las empresas desarrolladoras y los locatarios. Por su parte, los desarrolladores proponen adecuaciones en la legislación y en las regulaciones con el fin de obtener el mayor beneficio posible con sus proyectos, mientras tanto los pobladores han visto que los beneficios que les fueron prometidos no se han reflejado en sus condiciones de vida, incluso son localidades que cuentan con el mayor número de viviendas sin energía eléctrica.

Con respecto a los aspectos sociales relacionados con la generación eólica, Uranga (2011) indica que *‘es una opción adecuada para el sector eléctrico mexicano en términos estratégicos, ambientales y de rentabilidad; sin embargo, el papel social de este tipo de proyectos depende de la adecuación de esquemas institucionales dirigidos a incentivar la distribución de los beneficios entre la población’* [Uranga, 2011].

En México, existe información oficial a partir de la cual es posible generar los indicadores (regionalizados) utilizados en la elaboración de una evaluación de la sustentabilidad de la generación eólica de electricidad considerando los factores sociales. Debido a que mucha de esta información (indicadores) debe ser generada con base en metodologías internacionales y con el fin de generar los indicadores regionalizados que se utilizarán para la ejecución, evaluación e integración de los aspectos ambientales, sociales y económicos de la eolelectricidad producida en México se cuenta con cifras y datos de la CFE, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI, de la SENER, así como de la Semarnat.

La etapa de construcción de un parque eólico genera fuentes de empleo que son aprovechadas por los pobladores de la localidad. Según datos de Juárez-Hernández y León, con los parques eólicos en operación en el Istmo de Tehuantepec se crearon 4,700 empleos directos y 4,900 indirectos. No obstante, se trata de fuentes temporales de empleo de no más de un año y medio, lo que representa entre el 1% y el 6% de la inversión total cuya inversión se sitúa entre el 74 y el 82%. Después, durante el período de operación, en el que eventualmente se deberá dar mantenimiento a los equipos, la necesidad de mano de obra es ínfima y de baja remuneración. Las 14 centrales eólicas en Oaxaca emplean alrededor de 300 personas lo que representa un promedio de un empleo por cada tres aerogeneradores instalados [Juárez-Hernández y León, 2014].

Las obras de infraestructura social no son suficientes para compensar a las localidades afectadas por la construcción de los campos eólicos. La construcción de caminos de acceso y la misma operación de las turbinas afecta a las actividades económicas de las poblaciones, incluyendo a las actividades agrícolas y ganaderas. Por ejemplo, Juárez-Hernández y León también reportaron que en municipios como Juchitán de Zaragoza, Asunción Ixtaltepec y Santo Domingo Ingenio, mantuvieron un grado de marginación medio. En La Venta y La Mata, persistió el grado de marginación medio y con un grado de marginación alto están La Ventosa y Santo Domingo Ingenio. Estos mismos autores señalan que durante el 2010 fue en el estado de Oaxaca en el que se encontraba el mayor número de viviendas que carecían de energía eléctrica, siendo más del 5% de la población oaxaqueña [Juárez-Hernández y León, 2014].

Por otra parte, se acentúa la desigualdad social en estas poblaciones entre las personas que cuentan con terrenos que han sido rentados para la construcción del campo eólico y los que no los tienen. Asimismo, el establecimiento de los pagos por concepto de renta, son poco claros y carecen de similitudes con los montos que se manejan en otros países. Tanto Holanda, Alemania y Dinamarca han optado por buscar la participación social a través de proyectos eólicos comunitarios, tomando tal ejemplo, en el Istmo de Tehuantepec se podría lograr la aceptación social de los proyectos eólicos [Juárez-Hernández y León, 2014]. En México se ha fomentado la inversión privada que en muchos casos es extranjera.

Cabe destacar que, en palabras de Juárez-Hernández y León (2014) en México es casi imposible seguir ese modelo ya que *'la CFE ha obstaculizado la adopción de nuevos esquemas como los proyectos eólicos comunitarios que posibilitan a los dueños de las tierras, habitantes locales u otros agentes sociales ser accionistas de los proyectos y acceder así a una mayor porción de los beneficios'*. Por ejemplo, en el año 2009, comuneros del municipio de Ciudad Ixtepec elaboraron una propuesta para el desarrollo de un proyecto eólico comunitario; el proyecto no prosperó y la CFE dio a conocer la licitación de dos proyectos (también con participación comunitaria) que cuatro años más tarde serían cancelados debido a la fuerte oposición política y social [Juárez-Hernández y León, 2014]. En la Tabla 19 se resumen los principales motivos de oposición a la construcción de una central eólica en el Istmo de Tehuantepec encontrados por Juárez y León.

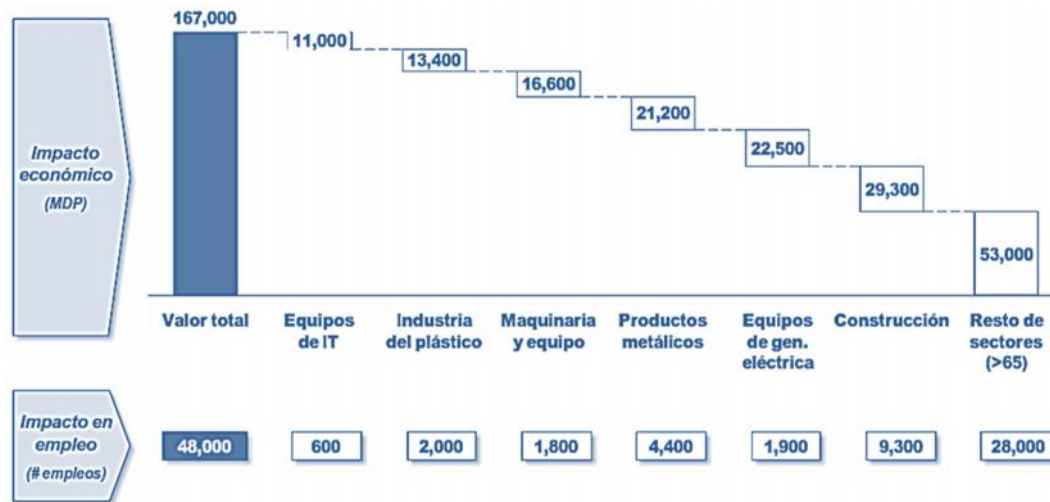
De hecho, los pobladores cercanos a los parques eólicos del Istmo se oponen a la construcción de los parques eólicos a gran escala; su percepción al respecto es que se han otorgado facilidades a los grandes inversionistas y se pasan por alto las acciones de tipo social. En relación a ello se sabe que en el país hay regiones con niveles altos de productividad; sin embargo, ésto no es sinónimo de un incremento en su nivel de vida ya que en las comunidades en cuestión persisten condiciones de hambre, desnutrición y carencia de los servicios básicos [Uranga, 2011].

**Tabla 19:** Principales motivos de oposición social al desarrollo de un proyecto eólico en el Istmo de Tehuantepec.

Arrendamiento de tierras	Participación comunidades	Efecto en el desarrollo local	Afectaciones ambientales
Información asimétrica	No existe	Empleos mayormente temporales	Deterioro de suelo agrícola
Sin orientación ni asesoría	Se nombra representante de la comunidad	Afectación de las actividades de sustento de la población	Pérdida de biodiversidad
Condiciones de los contratos de arrendamiento	División y confrontación de comunidades	Obras de infraestructura social de bajo impacto	Ruido
Monto de las contraprestaciones	Bloqueo a proyectos eólicos comunitarios	Beneficios económicos mayormente de los desarrolladores	
Fragmentación de núcleos agrarios			

**Fuente:** Juárez-Hernández y León, 2014.

Cabe señalar que el WWF (2013) indica que el sector eólico mexicano tiene grandes expectativas de crecimiento si se considera la necesidad de atraer inversión del sector industrial, a la par y debido a la ubicación geográfica de México, el desarrollo de otras industrias se vería beneficiado, ya que no sólo se solventaría la demanda nacional, sino que podría abrirse la posibilidad de exportar el producto aquí fabricado. En la Figura 14 se aprecia tanto el valor del PIB como los empleos generados si se desarrollara un potencial eólico de 12,000 MW [WWF, et al., 2013] con tecnología propia.



**Figura 14.** Impacto en el PIB y en el empleo debido al desarrollo de 12,000 MW eólicos en México.

**Fuente:** Tomada de WWF-PwC, 2013.

Es posible tener una idea clara del nivel de vida con el que cuenta una población a través del llamado Índice de Desarrollo Humano, IDH. Dicho índice tiene como objetivo medir el conjunto de capacidades y libertades que tienen los individuos para elegir entre formas de vida alternativas. Para ello, se toman en

cuenta tres dimensiones básicas para el desarrollo: 1) la posibilidad de gozar de una vida larga y saludable; 2) la capacidad de adquirir conocimientos; 3) la oportunidad de tener recursos que permitan un nivel de vida digno. El IDH se calcula empleando la media geométrica de los índices de los tres componentes. Por ello, un mal desempeño en cualquiera de los componentes se refleja directamente en el valor del índice y ya no existe sustituibilidad perfecta entre ellos. El método capta cuán equilibrado es el desempeño de un país, estado o municipio en las dimensiones básicas del desarrollo [PNUD, 2014].

Por una parte seis municipios con menor Índice de Salud (IS<sup>8</sup>) pertenecen al estado de Oaxaca, el municipio de Abejones es el de menor IS con 0.340. También en este estado se concentran seis municipios con menor Índice de Educación (IE<sup>9</sup>), siendo el más bajo del país Coicoyán de las Flores con un IE de 0.207. A pesar de ello el municipio de San Sebastián Tutla tiene un IE de 0.910, lo que lo sitúa en tercer lugar entre los mejores valores del IE, aunque pertenezca a una de las entidades con menor nivel de desarrollo humano en el país. Finalmente, en Oaxaca se concentran 5 de los municipios con menor Índice de Ingreso (II<sup>10</sup>) siendo el municipio de San Simón Zahuatlán el que tiene el II más bajo de todo el país con un valor de 0.436 [PNUD, 2014].

En la Tabla 20 se muestran los principales indicadores de desarrollo humano tanto para algunas localidades del estado de Oaxaca como a nivel nacional [PNUD, 2012; PNUD, 2014].

**Tabla 20:** Dimensiones del desarrollo humano en Oaxaca, 2010.

Índice componente	Estatal	Valor mínimo	Municipio	Valor máximo	Municipio	Nacional
IDH	0.668	0.367	San Miguel Santa Flor	0.852	San Sebastián Tutla	0.739
IS	0.829	0.340	Abejones	0.920	San Pedro Comitancillo	0.874
IE	0.563	0.207	Coicoyán de las Flores	0.910	San Sebastián Tutla	0.678
II	0.638	0.436	San Simón Zahuatlán	0.802	San Sebastián Tutla	0.681

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de *Índice de desarrollo humano municipal en México 2014* e *Índice de Desarrollo Humano en México: cambios metodológicos e información para las entidades federativas, 2012*.

El documento *Índice de desarrollo humano municipal en México 2014* indica que del total de municipios oaxaqueños, 80.7% de éstos son rurales, siendo ésta la entidad con el mayor número de municipios de este tipo. Junto con Veracruz cuenta con ocho de los diez municipios con menor nivel de desarrollo. El IDH de Oaxaca en 2010 fue de 0.666, siendo uno de los de menor desarrollo humano en el país, pero con entre un 40% y un 50% de sus municipios con desarrollo humano bajo [PNUD, 2014].

<sup>8</sup> IS: Mide la capacidad básica de contar con una vida larga y saludable. Se calcula a nivel municipal utilizando la tasa de mortalidad infantil [PNUD, 2014].

<sup>9</sup> IE: Mide el progreso relativo de un municipio en materia de años promedio de escolaridad para personas mayores de 24 años, y años esperados de escolaridad para personas entre 6 y 24 años.

<sup>10</sup> II: Es la dimensión de ingreso del IDH. Refleja el acceso a recursos que permiten gozar de una vida digna. Su cálculo implica el uso del Ingreso Nacional Bruto (INB) como indicador de los recursos disponibles, para ello, se hace una estimación del ingreso corriente del que disponen las familias a nivel municipal, y éste se ajusta al INB.

Por su parte, Uranga señaló en el año 2011 que los municipios oaxaqueños ubicados en la zona de mayor potencial eólico (como Juchitán de Zaragoza), contaban con un IDH ‘medio alto’, menor a la media nacional y mayor que el estatal, excepto Salina Cruz, cuyo índice era superior a la referencia nacional, ya que ahí se ubican importantes industrias de cemento, refinación de petróleo, empaçado de camarón y astilleros. También indicó que, considerando el Índice de Marginación como la medida de las necesidades de la población en educación y vivienda es posible conocer los rezagos de éstas respecto a aquellas poblaciones sin proyectos eólicos [Uranga, 2011].

De igual modo advierte que debido a las condiciones del territorio es necesaria *...la aplicación de políticas diferenciadas con acento en las características y necesidades propias del lugar donde serán ejecutadas y con la participación de los afectados, atendiendo las esferas social, económica, política y ecológica, en contraposición a las clásicas acciones centralizadas que asignan la vocación a un territorio con base en sus recursos naturales, el interés privado oculto bajo la máscara del ‘interés general’, con nula participación social y creciente concentración de los beneficios en pocas manos, cuyas consecuencias palpables han sido la extracción indiscriminada de las riquezas naturales, la pauperización de la población y su oposición frontal a este tipo de proyectos (léase el Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec)...* [Uranga, 2011]. En la Tabla 21 se muestran algunos datos de interés de dichas localidades y del estado de Oaxaca.

**Tabla 21:** Parámetros socioeconómicos de Oaxaca, La Venta y La Ventosa, 2010.

Parámetro	Localidad/entidad		
	Oaxaca	La Venta	La Ventosa
<b>Población total</b>	3,801,962	2,161	4,884
<b>Viviendas particulares habitadas</b>	934,471	636	1,173
<b>No disponen de agua entubada</b>	281,251	81	80
<b>No disponen de drenaje</b>	264,922	17	42
<b>No disponen de energía eléctrica</b>	48,857	12	23
<b>Con piso de Tierra</b>	175,091	11	57
<b>Viviendas particulares habitadas que no disponen de sanitario o excusado</b>	50,589	23	74
<b>Grado de marginación</b>	Muy alto	Medio	Alto
<b>Índice de marginación<sup>11</sup></b>	2.146	-0.9565	-0.7846

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de Sedesol, 2014.

Si bien en localidades como La Venta y La Ventosa en Oaxaca cuentan con desarrollos eólicos, los datos sociodemográficos indican una realidad diferente a las expectativas generadas en los pobladores.

En la Tabla 22 se muestran los principales indicadores de rezago social de la Heroica Ciudad de Juchitán de Zaragoza, así como los de las localidades de La Venta y La Ventosa del año 2010. En 2010 el estado de

<sup>11</sup> El Índice de marginación es una medida de la intensidad global de la marginación socioeconómica. Muestra las carencias que padece la población, englobando las dimensiones socioeconómicas educación, distribución de la población, ingresos monetarios y vivienda. Permite diferenciar entidades federativas en función del impacto global de las carencias que padece la población, como resultado de la falta de acceso a diferentes oportunidades, servicios o bienes [CONAPO, 2011].

Oaxaca ocupaba el segundo lugar en el contexto nacional en el Índice de rezago social [CONEVAL, 2014].

**Tabla 22:** Indicadores de rezago social, 2010.

Indicadores	Oaxaca	Juchitán de Zaragoza	La Venta	La Ventosa
<b>Población total</b>	3,801,962	93,038	2,161	4,884
<b>% de población de 15 años o más analfabeta</b>	16.27	14.16	14.97	15.31
<b>% de población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela</b>	5.64	4.38	2.18	4.23
<b>% de población de 15 años y más con educación básica incompleta</b>	57.8	50.35	46.58	50.51
<b>% de población sin derecho-habiciencia a servicios de salud</b>	43.08	44.17	37.3	36.49
<b>% de viviendas particulares habitadas con piso de tierra</b>	18.74	5.57	1.73	4.86
<b>% de viviendas particulares habitadas que no disponen de excusado o sanitario</b>	5.41	3.2	3.62	6.31
<b>% de viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada de la red pública</b>	30.1	8.64	12.74	6.82
<b>% de viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje</b>	28.35	2.73	2.67	3.58
<b>% de viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica</b>	5.23	1.71	1.89	1.96
<b>% de viviendas particulares habitadas que no disponen de lavadora</b>	62.7	43.68	25.63	40.49
<b>% de viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador</b>	40.04	22.32	11.48	19.69
<b>Índice de rezago social<sup>12</sup></b>	2.41779	-0.63104	-1.17425	-0.98489

**Fuente:** Elaboración propia, con datos de Sedesol, 2014.

Tanto en el estado de Oaxaca como en las localidades que cuentan con desarrollos eólicos el índice de marginación es elevado. Como este da cuenta de la situación en cuanto a la educación, la distribución de la población, sus ingresos monetarios y la vivienda, se evidencia la disparidad entre las expectativas en beneficios sociales y la realidad que se viven en las proximidades de los campos eólicos.

<sup>12</sup> El Índice de rezago social es una medida ponderada que resume cuatro indicadores de carencias sociales (educación, salud, servicios básicos y espacios en la vivienda) en un solo índice que tiene como finalidad ordenar a las unidades de observación según sus carencias sociales. Incorpora indicadores de educación, de acceso a servicios de salud, de servicios básicos, de calidad y espacios en la vivienda, y activos en el hogar [CONEVAL, 2014].



## 5.4 CONCLUSIÓN

A pesar de los bajos costos en la generación de la energía eólica, a la fecha la población la considera riesgosa. Ejemplo de ello es que en los Estados Unidos hasta el año 2011 se buscaba financiamiento con recursos europeos poco favorables. La intermitencia del recurso y la ubicación de los campos eólicos son factores que incrementan los costos de la energía. En México con las nuevas reformas queda aún mucho por hacer en este sentido. Por ejemplo, se debe definir si un productor externo de la CFE debería esperar a que ésta construya las líneas de transmisión que necesita el productor o sea éste quien pueda hacerlo. Otra cuestión en México es la relacionada con el cálculo del costo de porteo, cuya metodología de obtención es poco clara.

Indudablemente el uso de incentivos es un medio eficaz de promoción e impulso a la generación eólica que disminuye sus costos, pero se debe buscar la mayor ventaja (económica, ambiental y social) para la nación y no sólo para el productor de la energía. También se debe considerar que, como lo ha indicado Weidema, el éxito de un proyecto dependerá también de aspectos de tipo social y que la productividad de éste se verá afectada por factores como: desempleo y el subempleo, salud y discapacitantes de trabajo, efectos de las barreras comerciales, falta de educación, carencia de infraestructura física, así como por la carencia de la infraestructura social [Weidema, 2005].

Es poco común que durante el desarrollo de algún proyecto se den a conocer los beneficios sociales que su construcción acarreará o el descontento que prevalece entre los pobladores de las regiones aledañas ya que, por lo general, se presta mayor atención al beneficio económico que trae consigo o a las afectaciones ambientales que se tendrán.

Una evaluación de los efectos sociales permite conocer con antelación las consecuencias sociales relacionadas al desarrollo de un determinado proyecto. Los impactos sociales incluyen todas las consecuencias sociales y culturales de cualquier acción pública o privada que altere la forma de vida, el trabajo, el esparcimiento, la manera en que los individuos se relacionen entre sí, la organización para satisfacer sus necesidades, sus relaciones como miembros de la sociedad y su organización cultural.

Los efectos sociales que están en juego durante el desarrollo de un proyecto deben beneficiar tanto a los desarrolladores como a los habitantes. Están estrechamente relacionados con los aspectos económicos, lo que hace a veces difícil separarlos. En la actualidad la evaluación de los efectos sociales ha tomado importancia y está ligada a una producción más responsable. Como ejemplo se encuentra la metodología que generó el UNEP sustentada en el Análisis de Ciclo de Vida. Sin embargo, en lugares como México hay problemas con la calidad y oportunidad de tener acceso a bases de datos completas y/o confiables.

La determinación de los efectos sociales se hace a través de indicadores cuya valoración es frecuentemente subjetiva. Éstos son recabados en las comunidades en las que se desarrolla el proyecto.

En el siguiente capítulo se presentan algunos aspectos que son de interés durante la evaluación la sustentabilidad de un proyecto.

---

---

## 6 ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD DE LA GENERACIÓN EÓLICA EN MÉXICO

### INTRODUCCIÓN

Sin duda, la penetración de la energía eólica depende de forma importante tanto sus costos (aspectos económicos involucrados) como la aceptación de la población. La velocidad del viento disponible es un factor estrechamente relacionado con el decremento de los costos; en esto radica la necesidad de contar con datos fidedignos y la anuencia de la población local. La experiencia internacional ha mostrado que los proyectos eólicos han tenido éxito en la aceptación pública según el impacto ambiental de éstos (ruido generado, impacto visual) y el impacto en la flora y en la fauna del sitio, además de los aspectos sociales mencionados con anterioridad.

Con objeto de aminorar las inquietudes en torno al impacto ambiental, los beneficios económicos y sociales de los proyectos eólicos, sería pertinente que desde la Semarnat se genere y aplique una normatividad específica para la identificación, control y mitigación de todos sus potenciales beneficios y efectos adversos basada en estudios regionalizados.

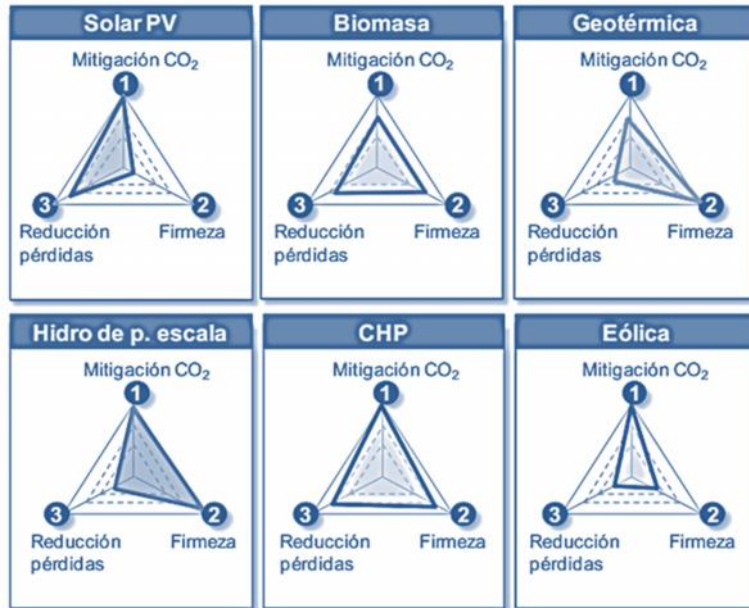
### 6.1 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍAS RENOVABLES

El uso de fuentes renovables de energía impacta de manera positiva en la seguridad energética de un país, pues se trata de fuentes de energía limpias e inagotables. Las fuentes de energía renovables también producen niveles más bajos o insignificantes de GEI y otros contaminantes en comparación con las fuentes de energía convencionales, como ya se ha mencionado [Demirbas, Ayhan, 2008; Takada y Fracchia, 2007].

Según el WWF (2013) cada tipo de energía representa un valor relacionado con la seguridad energética y la sustentabilidad del sistema eléctrico. Considerando los vectores mitigación de CO<sub>2</sub>, reducción/pérdidas y firmeza, la aportación de cada tecnología, según el WWF se muestra en la Figura 15 [WWF, et al., 2013].

**Mitigación de CO<sub>2</sub> y externalidades:** Tanto la energía eólica como la solar representan opciones con alto impacto en la mitigación de los GEI, la biomasa es una tecnología cero emisiones, en contraste la geotermia implica la emisión de cerca de 0.5 t CO<sub>2</sub>/MWh propias de los yacimientos. Por otro lado, si la cogeneración se realiza a partir de biomasa o gas natural también se tendría una importante disminución de emisiones contaminantes que dependerán fuertemente de la eficiencia de esta tecnología. En 2012 se definen las externalidades como *‘(...) los impactos positivos o negativos, asociados a la generación de energía eléctrica, que genera la provisión de un bien o servicio y que afectan o que pudieran afectar de manera local, regional o global a una tercera persona en México en el corto, mediano y largo plazo. Estas ocurren cuando el costo pagado por un bien o servicio es diferente del costo total de los daños y beneficios en términos económicos, sociales, ambientales y a la salud, que involucran su producción y consumo, y por lo cual no se está ya compensando o retribuyendo.’* [WWF, et al., 2013].

**Firmeza:** Se debe garantizar la entrega de la energía al momento en que ésta se requiere. La SENER adopta un valor mínimo de Margen de Reserva Operativo del 6%. Hacia el 2018 la CFE lo proyecta en 15% mediante, ya sea, de la instalación de tecnología intermitente, o mediante las tecnologías disponibles que permitan mantener el margen de reserva en un valor mayor al mínimo estimado, como la geotermia o la biomasa [WWF, et al., 2013].



**Fuente:** Tomado de *Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018*.  
\*CHP: cogeneración.

**Figura 15.** Tecnologías renovables y su aportación a la seguridad energética y a la sustentabilidad.

**Reducción de pérdidas:** Al 2010 el SEN había presentado un 18% de pérdidas. En este sentido, la disponibilidad cercana a los consumidores, el uso de las energías renovables permite eliminar dichas pérdidas (paneles solares en casas o edificios, equipos de cogeneración en industrias, uso de biomasa en granjas, principalmente). La reducción de las pérdidas con la interconexión de estas centrales de generación distribuidas incrementa la calidad en el servicio<sup>13</sup> y reduce la necesidad de nuevas redes de transporte de energía [WWF, et al., 2013].

A continuación se presentan algunos indicadores de desarrollo sustentable de utilidad en al determinar la sustentabilidad de un proyecto.

<sup>13</sup> Las pérdidas en la industria por 1 MWh no suministrado equivale a más de 5,000 USD, 55 veces su precio medio al consumidor [WWF et al., 2013].

---

---

## 6.2 INDICADORES DE DESARROLLO SUSTENTABLE SEGÚN SU CATEGORÍA TEMÁTICA

Un indicador es una función de una o más variables, que cuantifican una característica o atributo de los individuos en estudio [CEPAL, 2009]. Hacia el año 2000, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Instituto Nacional de Ecología (INE), elaboraron el documento ‘Indicadores de Desarrollo Sustentable en México’, en el que se presenta un total de 134 indicadores de utilidad para la evaluación del impacto de las actividades humanas en los ecosistemas; se toman en cuenta los tres componentes implícitos dentro del concepto de sustentabilidad: el bienestar humano, el bienestar ecológico y sus interacciones. El informe fue evaluado por la Comisión de Desarrollo Sustentable (CDS) de las Naciones Unidas [INEGI-INE, 2000].

Tanto la CDS, como diversas agencias asociadas (o independientes) de las Naciones Unidas y de representantes de algunos países diseñaron y elaboraron las metodologías que fungieran como guía para la creación de los indicadores de cada país.

Por su parte, estos indicadores se diseñaron y agruparon con base en los criterios temáticos establecidos en los 40 capítulos de la Agenda 21; es decir, fueron clasificados en las siguientes cuatro categorías: *social, económica, ambiental e institucional*; considerando su naturaleza, se agruparon dentro del esquema presión-estado-respuesta. El resultado final fue: 43 indicadores se ubicaron en el esquema presión, 54 en estado y 37 indicadores corresponden al esquema respuesta. En la Tabla 23 se muestra la distribución de dichos indicadores, considerando su categoría temática.

Todos los indicadores generados para la cuantificación del desarrollo sustentable, incluyendo los del esquema PER, consideran los siguientes criterios:

- ✓ Fácil elaboración y comprensión
- ✓ Fomento y reforzamiento de la conciencia pública sobre los aspectos de la sustentabilidad, así como la promoción de acciones a nivel local, regional o nacional
- ✓ Determinantes en la medición y evaluación para el lograr un desarrollo sustentable
- ✓ Fáciles de elaborar a nivel nacional u otras escalas geográficas, considerando: la capacidad nacional, la disponibilidad de información básica, el tiempo de elaboración y las prioridades nacionales
- ✓ Conceptualmente bien fundamentados para lograr comparaciones objetivas en los niveles nacional e internacional
- ✓ Que puedan adaptarse a desarrollos metodológicos y conceptuales futuros
- ✓ Útiles para identificar aspectos prioritarios o de emergencia, orientando nuevas investigaciones
- ✓ Que abarquen la mayoría de los temas de la Agenda 21 y otros aspectos del desarrollo sustentable

**Tabla 23:** Indicadores propuestos por la CDS, clasificados según su categoría.

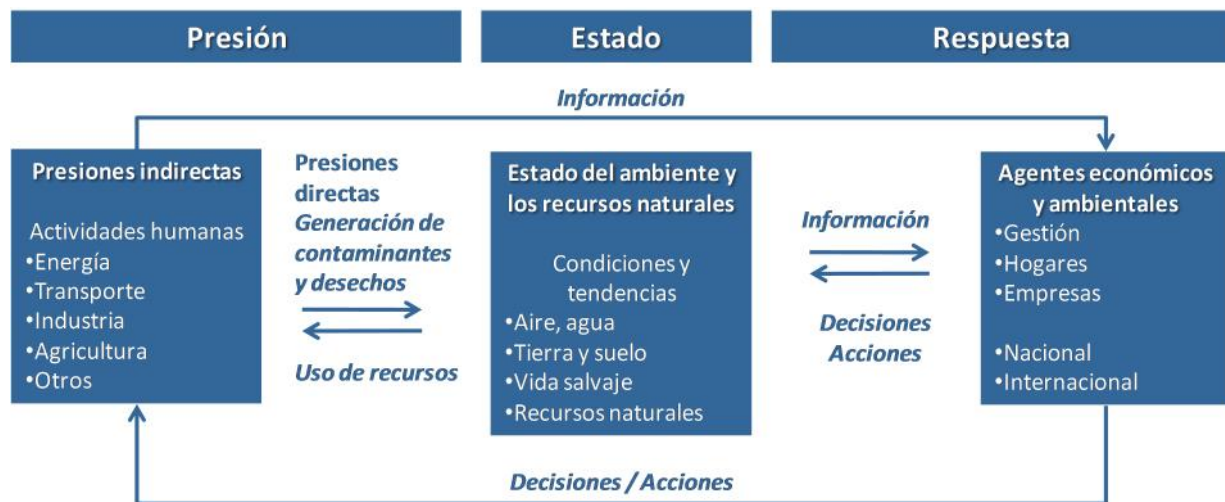
Aspectos Sociales	Aspectos Económicos	Aspectos Ambientales	Aspectos Institucionales
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Combate a la pobreza</li> <li>- Dinámica demográfica y sustentabilidad</li> <li>- Promoción de la educación, la concientización pública y la capacitación</li> <li>- Protección y promoción de la salud humana</li> <li>- Promoción del desarrollo de asentamientos humanos sustentable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cooperación internacional para acelerar el desarrollo sustentable en los países y en sus políticas internas</li> <li>- Cambio de patrones de consumo</li> <li>- Mecanismos y recursos financieros</li> <li>- Transferencia de tecnología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recursos de agua dulce</li> <li>- Protección de océanos, todo tipo de mares y áreas costeras</li> <li>- Enfoque integrado para la planificación y administración de recursos del suelo</li> <li>- Manejo de ecosistemas frágiles: Combate a la desertificación y la sequía</li> <li>- Manejo de ecosistemas frágiles: Desarrollo sustentable en áreas montañosas</li> <li>- Promoción de la agricultura sustentable y el desarrollo rural</li> <li>- Combate a la deforestación</li> <li>- Conservación de la diversidad biológica</li> <li>- Manejo ambientalmente limpio de la biotecnología</li> <li>- Protección de la atmósfera</li> <li>- Manejo ambientalmente limpio de desechos sólidos y aspectos relacionados con aguas servidas</li> <li>- Manejo ambientalmente limpio de sustancias químicas tóxicas</li> <li>- Manejo ambientalmente limpio de desechos peligrosos</li> <li>- Manejo seguro y ambientalmente limpio de desechos radioactivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integración del ambiente y el desarrollo en la toma de decisiones</li> <li>- Ciencia para el desarrollo sustentable</li> <li>- Instrumentos y mecanismos legales internacionales</li> <li>- Información para la adopción de decisiones</li> <li>- Fortalecimiento del papel de los grupos principales</li> </ul>
<b>Total de indicadores</b>			
<b>41</b>	<b>23</b>	<b>55</b>	<b>15</b>

**Fuente:** Elaboración propia con datos de INEGI-INE, 2000.

### 6.2.1 El esquema Presión-Estado-Respuesta, PER para la generación de los indicadores de desarrollo sustentable

Este enfoque tuvo su origen en 1979 en Canadá; posteriormente las Naciones Unidas lo toman como base para la elaboración de manuales de estadísticas ambientales. De manera simultánea, este esquema fue adoptado y modificado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE, definiendo en 1991 el esquema PER., para 1993 los indicadores así desarrollados se utilizarían para la evaluación del desempeño ambiental.

El esquema Presión-Estado-Respuesta (Figura 16) clasifica la información sobre los recursos naturales y ambientales considerando las interrelaciones con las actividades sociodemográficas y económicas, de manera tal que *‘las actividades humanas ejercen presión (P) sobre el ambiente, modificando con ello la cantidad y calidad, es decir, el estado (E) de los recursos naturales; la sociedad responde (R) a tales transformaciones con políticas generales y sectoriales (tanto ambientales como socioeconómicas), las cuales afectan y se retroalimentan de las presiones de las actividades humanas’* [INEGI-INE, 2000].



Fuente: INEGI-INE, 2000.

Figura 16. Modelo Presión-Estado-Respuesta

La OCDE define a un indicador como un *‘parámetro o valor, derivado de parámetros generales, que señala o provee información o describe el estado de un fenómeno dado –del ambiente o de un área específica- con un significado que trasciende el valor específico del parámetro’* [INEGI-INE, 2000].

El indicador presentará las siguientes dos funciones básicas:

1. Reducir el número de mediciones y parámetros que normalmente se requieren para reflejar una situación dada, y
2. Simplificar el proceso de comunicación con el usuario.

Los indicadores de desarrollo sustentable sociales y económicos que se han considerado para evaluar la posición de México dentro del documento 'Indicadores de Desarrollo Sustentable en México', se describen brevemente. Se especifica el capítulo (dentro de la Agenda 21) en que se localiza el indicador y su clasificación dentro del modelo PER [INEGI-INE, 2000].

#### 6.2.1.1 Indicadores PER, Categoría Económica

##### *Producto Interno Neto ajustado ambientalmente por habitante*

Agenda 21, Capítulo 2; Categoría: **Económica**; Esquema PER: Estado. Se obtiene al deducir los costos ambientales del Producto Interno Neto, entre la población total del país. La tendencia del producto interno neto ajustado ambientalmente o producto interno neto ecológico, PINE, es un indicativo del crecimiento económico sustentable.

El Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México incorpora a los agregados económicos los ajustes derivados de los cambios en los recursos naturales y el ambiente. Las estimaciones monetarias del PINE, consideran los costos por agotamiento y los ocasionados por degradación.

##### *Consumo anual de energía por habitante*

Agenda 21, Capítulo 4; Categoría: **Económica**; Esquema PER: Presión. Es la energía consumida (líquida, sólida, gaseosa o eléctrica) por habitante en un año y en un área geográfica dada. El uso de energía está directamente relacionado con el consumo y la producción. En general, la disponibilidad de energía es indicativa de progreso económico. Su producción, uso y aplicaciones constituyen los mayores impactos al ambiente.

##### *Participación de las industrias intensivas en recursos naturales no renovables en el valor agregado manufacturero*

Agenda 21, Capítulo 4; Categoría: **Económica**; Esquema PER: Presión. Participación porcentual del valor agregado de las industrias manufactureras intensivas en recursos naturales no renovables respecto al valor agregado manufacturero total. Representa el impacto potencial de la estructura subsectorial de la producción industrial en el agotamiento de los recursos no renovables.

A pesar de mostrar las principales repercusiones, la obtención de insumos de recursos naturales (directos e indirectos) para la producción industrial impide a cualquier indicador ser una medida ideal del desarrollo sustentable.

##### *Reservas probadas de fuentes energéticas fósiles*

Agenda 21, Capítulo 4; Categoría: **Económica**; Esquema PER: Estado. Se trata de las cantidades que pueden ser recuperadas con razonable certidumbre en el futuro, bajo las condiciones económicas y técnicas existentes, con base en información geológica y de ingeniería. Con este indicador es posible la cuantificación de la disponibilidad de recursos energéticos fósiles.

*Duración de las reservas probadas de energía*

Agenda 21, Capítulo 4; Categoría: **Económica**; Esquema PER: Estado. Se trata del índice de duración de la producción, que es la proporción de las reservas remanentes de energía al final de cualquier año, respecto de la producción de energía en ese año. Gracias a éste, es posible conocer el período de tiempo en el que las reservas probadas durarían, si la producción se mantiene en los niveles vigentes. Permite calcular la solvencia futura de energía, y determinar las estrategias de explotación y uso eficiente de los recursos energéticos.

*Participación del consumo de recursos energéticos renovables*

Agenda 21, Capítulo 4; Categoría: **Económica**; Esquema PER: Estado. Mide el consumo de recursos energéticos renovables en proporción al consumo total de energía. Es de utilidad para determinar la proporción de los recursos energéticos renovables respecto a los no renovables. El consumo final energético es el realizado en la actividad industrial, transporte, agropecuario y residencial-comercial-público.

*Gasto en protección ambiental como proporción del PIB*

Agenda 21, Capítulo 33; Categoría: **Económica**; Esquema PER: Respuesta. Es el gasto necesario para evitar, reducir y eliminar la contaminación, así como cualquier otra degradación del ambiente. Cuantifica los esfuerzos llevados a cabo por un país para proteger/restaurar el ambiente. Puede ser una medida de los costos económicos que enfrenta la sociedad para proteger su ambiente.

*Participación de bienes de capital ambientalmente limpios en la importación total de bienes de capital*

Agenda 21, Capítulo 34; Categoría: **Económica**; Esquema PER: Estado. Se define como la contribución de las importaciones de bienes de capital ambientalmente limpios en el total de importaciones de bienes de capital. El indicador puede contribuir a determinar de una manera más precisa el tránsito hacia una transferencia de tecnología sustentable.

*6.2.1.2 Indicadores PER, Categoría Social**Relación entre los salarios medios de los hombres y las mujeres*

Agenda 21, Capítulo 3; Categoría: **Social**; Esquema PER: Estado. Proporción del salario promedio pagado a los trabajadores del sexo femenino respecto al promedio de los salarios del sexo masculino, en intervalos regulares, por tiempo trabajado o por trabajo realizado en ocupaciones específicas. Evalúa la remuneración devengada por las mujeres, con respecto a la que reciben los hombres, para determinar el nivel de participación de la mujer en la economía.

*Relación entre los salarios medios de los hombres y las mujeres*

Agenda 21, Capítulo 3; Categoría: **Social**; Esquema PER: Estado. Las estadísticas de género, de la Encuesta Nacional de Empleo proporcionan información complementaria sobre las condiciones del mercado laboral mediante la que se crean indicadores que muestren las desigualdades entre géneros (edad, escolaridad, horas trabajadas, horas dedicadas a quehaceres domésticos por grupo de ocupación principal).



---

---

### *Tasa neta de matrícula escolar en primaria*

Agenda 21, Capítulo 36; Categoría: **Social**; Esquema PER: Presión. Proporción de la población que tiene la edad reglamentaria para cursar la educación primaria, según la regulación nacional, y que ha sido matriculada en el nivel de primaria. Es una medida real de la población en edad de asistir a la educación primaria. El indicador se puede utilizar para medir el tamaño de la población en edad escolar no matriculada en primaria.

Según la Secretaría de Educación Pública, SEP, la edad escolar para cursar la primaria es entre los 6 y 14 años de edad; sin embargo, una proporción importante de la población entre los 12 y 14 años ya cursa la secundaria, razón por la cual a la matrícula total de primaria se restó la población de 12, 13 y 14 años, para elaborar la tasa neta.

### *Niños que alcanzan el quinto grado de educación primaria*

Agenda 21, Capítulo 36; Categoría: **Social**; Esquema PER: Estado. Se trata del porcentaje de alumnos que ingresan al primer grado de enseñanza en un año escolar dado y que llegan al quinto año de estudios. Es una estimación de la proporción de niños que ingresan a la escuela primaria y que adquieren alfabetización básica. También se le conoce como 'eficiencia terminal' y muestra la proporción de los egresados de un nivel educativo dado y el número de estudiantes que ingresaron al primer grado de ese nivel educativo 'n' años antes. En el caso de la educación primaria, es el porcentaje de alumnos que termina ese nivel educativo dentro del tiempo establecido (6 años).

### *Esperanza de vida escolar*

Agenda 21, Capítulo 36; Categoría: **Social**; Esquema PER: Estado. Es el promedio estimado de años que un alumno permanecería inscrito (o matriculado) en una institución educativa. Da una estimación del número de años de enseñanza que un niño esperaría recibir si se matricula en la escuela. Este indicador puede utilizarse para deducir el nivel general de desarrollo y rendimiento del sistema educativo, según la duración media de la participación de cada niño matriculado en el sistema educativo. Debido a que en México no se dispone de información sobre matrícula escolar por edad, para su elaboración se ha utilizado la información recopilada por la UNESCO.

### *Porcentaje del producto interno bruto (PIB) destinado a educación*

Agenda 21, Capítulo 36; Categoría: **Social**; Esquema PER: Respuesta. Es el gasto en educación expresada como proporción del PIB. Se cuantifican los recursos financieros destinados a la educación y el porcentaje que representa en el ingreso nacional. Gracias a él, es posible realizar una evaluación más adecuada de la distribución de los recursos financieros destinados a la educación dentro de la economía nacional. Sirve de base para la adopción de políticas y la toma de decisiones.

El gasto nacional en educación aquí considerado incluye: gasto público federal, estatal y municipal, gasto privado; gasto público en el sistema escolarizado y gasto público federal en el sistema extraescolar.

### *Esperanza de vida al nacer*

Agenda 21, Capítulo 6; Categoría: **Social**; Esquema PER: Estado. Es el número de años promedio que se espera que viva un recién nacido sujeto a las tasas de mortalidad por edades en un periodo determinado.

---

---

Indica los años que se espera vivirá un recién nacido, dados los riesgos actuales de mortalidad por edades. La esperanza de vida al nacer es un indicador de las condiciones de mortalidad y, en aproximación, de las condiciones de salud.

La importancia de este indicador estriba en que refleja las condiciones sociales, económicas y ambientales de un país. También guarda estrecha relación con otras variables demográficas, en particular con la tasa de crecimiento de la población.

#### *Peso suficiente al nacer*

Agenda 21, Capítulo 6; Categoría: **Social**; Esquema PER: Estado. El peso suficiente al nacer, en México, es aquel igual o mayor a 2,500 g, tomado en las primeras horas de vida, antes de que haya una pérdida significativa de peso posnatal. El indicador muestra el porcentaje de niños que nacen con peso suficiente en una comunidad.

#### *Tasa de mortalidad materna (TMM)*

Agenda 21, Capítulo 6; Categoría: **Social**; Esquema PER: Estado. Son las muertes maternas por cada 1,000, 10,000 ó 100,000 niños nacidos vivos. Con base en éste se determina la cantidad de mujeres que mueren por causas relacionadas o agravadas por el embarazo o su manejo. La TMM refleja el riesgo de muerte durante el embarazo y el parto, debido a: condiciones socioeconómicas generales; estado de salud insatisfactorio antes del embarazo; incidencia de las diversas complicaciones del embarazo y el parto, disponibilidad y utilización de servicios de salud, incluida asistencia prenatal y obstétrica.

Debido al decremento considerable en la tasa de muertes maternas en muchos países, esta proporción se expresa ahora por 10,000 o con mayor frecuencia, por 100,000 nacidos vivos.

#### *Tasa de crecimiento de la población urbana*

Agenda 21, Capítulo 7; Categoría: **Social**; Esquema PER: Presión. Se trata de la tasa media anual de variación de la población que vive en zonas urbanas definidas durante un periodo determinado. Cuantifica la velocidad a la que cambia el tamaño de la población urbana. Suma las consecuencias del crecimiento natural de la población urbana, de la migración neta de las zonas rurales a las urbanas, y del aumento de la superficie de suelo con características urbanas.

Se define a la población urbana como aquella que habita en localidades de 15 mil y más habitantes (a partir de este rango demográfico se presenta regularidad en las características urbanas, como concentración de población, densidad y concentración de actividades económicas no rurales). Se incluyen también datos de la población semiurbana en localidades de 2,500 a 14,999 habitantes por ser un criterio de uso frecuente para definir el ámbito urbano en México.

#### *Consumo de combustible fósil por habitante en vehículos de motor*

Agenda 21, Capítulo 7; Categoría: **Social**; Esquema PER: Presión. Son los litros de combustible fósil promedio consumidos al año por persona en transporte por vehículos de motor en las zonas urbanas. Debido a que la información para este indicador no está disponible para las áreas urbanas, se considera el

consumo aparente de combustibles (producción + importación - exportación de gasolina y diésel) dividido por el total de población para obtener un factor por habitante, multiplicado por la población que reside en las 100 ciudades de 50,000 y más habitantes. El resultado es un indicador macro, que permite dar una idea en escala reducida y simple de la dimensión del consumo urbano de combustibles (esta aproximación es muy general en tanto que no todos los habitantes del país ni de las ciudades disponen de automóvil).

#### *Pérdidas humanas y económicas debidas a desastres naturales*

Agenda 21, Capítulo 7; Categoría: **Social**; Esquema PER: Presión. Corresponde a las personas muertas y desaparecidas como consecuencia directa de un desastre natural y cantidad de pérdidas económicas y de infraestructura ocurridas también a causa de un desastre natural. Cuantifica las repercusiones humanas y económicas de los desastres y emergencias a lo largo del tiempo con el fin de medir la evolución del grado de vulnerabilidad de la población. Es de utilidad en la toma de decisiones para determinar si el país, o determinadas provincias, son propensos a sufrir los impactos provocados por los desastres. Se incluyen los desastres provocados que ver con imprevisiones o carencia de recursos para atender adecuadamente las demandas sociales.

#### *Porcentaje de población que vive en zonas urbanas*

Agenda 21, Capítulo 7; Categoría: **Social**; Esquema PER: Estado. Porcentaje de la población total de un país o región que vive en zonas definidas como urbanas. Este indicador es el índice del grado de urbanización que se utiliza con mayor frecuencia.

La población urbana es aquella que habita en localidades de 15,000 y más habitantes (tamaño demográfico que presenta regularidad en características urbanas, como concentración de actividades no rurales, de servicios e infraestructura, en todo el país). Se incluyen localidades de más de 2,500 habitantes (semiurbanas), por el uso generalizado en el país y por su utilidad operativa como marco geográfico para el levantamiento de censos y encuestas. Si se suman las localidades urbanas y suburbanas se obtiene el dato comparativo del ámbito urbano (2,500 y más habitantes) tradicionalmente utilizado en el país. Es útil clasificar también las zonas urbanas según el tamaño, ya que de él dependen, en parte, las acciones de planeación y gestión de las ciudades.

### **6.2.2 Indicadores para el Desarrollo Sustentable de la Agencia Internacional de Energía Atómica, IAEA**

En el año 2005 la International Atomic Energy Agency crea un documento denominado ‘*Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*’; en el que se señalan los principales indicadores considerados para la evaluación del desarrollo sustentable. En la Tabla 24 se presentan los indicadores de la IAEA [IAEA, 2005].

Tabla 24: Indicadores de energía para el desarrollo sustentable.

Social				
Tema	Subtema	Indicador de energía		Componentes
Equidad	Accesibilidad	SOC1	Porcentaje de hogares (o población) carecen de electricidad o la energía comercial, o dependiente en gran medida de la energía no comercial	- Hogares (o población) que carecen de electricidad o energía comercial de energía, o depende en gran medida en energía no comercial - Número total de hogares o población
	Asequibilidad	SOC2	Participación en el ingreso familiar destinado a combustible y electricidad	- Ingreso del hogar destinado a combustible y electricidad - Ingresos de los hogares (población total y 20% más pobre)
	Disparidades	SOC3	Uso de energía en el hogar correspondiente a cada ingreso y mix combustible	- Consumo de energía por hogar para cada grupo de ingresos (quintiles) - Ingresos del hogar para cada grupo de ingresos (quintiles) - Mix de combustible correspondiente para cada grupo de ingresos (quintiles)
Salud	Seguridad	SOC4	Accidentes mortales por energía producida en la cadena de combustible	- Muertes anuales por la cadena de combustible - Energía anual producida
Económico				
Patrones de uso y producción	Consumo global	ECO1	Consumo de energía per cápita	- Uso de energía (suministro total de energía primaria, consumo final total y uso de electricidad) - Población total
	Productividad global	ECO2	Consumo de energía por unidad de PIB	- Consumo de energía (suministro total de energía primaria, consumo final total y uso de la electricidad) - PIB
	Eficiencia de obtención	ECO3	Eficiencia de conversión y distribución de energía	- Pérdidas en los sistemas de transformación, incluyendo pérdidas en la generación, transmisión y distribución de electricidad
		ECO4	Relación reservas/producción	- Reservas recuperables probadas - Producción total de energía
		ECO5	Relación recursos/producción	- Recursos totales estimados - Producción total de energía

Económico				
Tema	Subtema	Indicador de energía		Componentes
Patrones de uso y producción	Uso final	ECO6	Intensidad energética en industrias	- Uso de energía en el sector industrial y por proceso de fabricación - Valor añadido correspondiente
		ECO7	Intensidad energética en agricultura	- Consumo de energía en el sector agrícola - Valor añadido correspondiente
		ECO8	Intensidad energética comercial/servicios	- Consumo de energía en el sector comercial y de servicios
		ECO9	Intensidad energética doméstica	- Consumo doméstico de energía y uso final - Número de hogares, superficie, integrantes, total de electrodomésticos
		ECO10	Intensidad energética por transporte	- Consumo de energía por transporte de pasajeros y de carga - Transporte de pasajero-km y tonelada-km
	Diversificación (mix de combustible)	ECO11	Participación del combustible en energía y electricidad	- Oferta de energía primaria y consumo final, generación de electricidad y capacidad de generación por tipo de combustible - Oferta total de energía primaria, consumo total, generación y capacidad de generación total de electricidad
		ECO12	Participación de energía sin emisiones de carbono en energía y electricidad	- Oferta primaria, generación y capacidad de generación de electricidad sin emisiones de carbono - Oferta de energía primaria total generación y capacidad de generación de electricidad
		ECO13	Oferta de energía renovable en energía y electricidad	- Oferta de energía primaria, consumo final, generación y capacidad de generación de electricidad mediante energía renovable - Oferta total de energía primaria, consumo final, generación total y capacidad de generación total de electricidad
		ECO14	Consumo final de energía por combustible y por sector	- Precios de la energía (con y sin impuesto/subsidio)

Económico				
Tema	Subtema	Indicador de energía		Componentes
Seguridad	Importaciones	ECO15	Dependencia neta de la importación de energía	- Importaciones de energía - Oferta total de energía primaria
	Reservas estratégicas de combustible	ECO16	Stocks de combustibles críticos por el correspondiente consumo de combustible	- Stocks del combustible crítico (p ej. Petróleo, gas, etc.) - Consumo del combustible crítico
Ambiental				
Atmósfera	Cambio Climático	ENV1	Emisiones de GEI por producción de energía y consumo per cápita y por unidad de PIB	- Emisiones de GEI por producción y uso de energía - Población y PIB
	Calidad del aire	ENV2	Concentraciones ambientales de contaminantes del aire en áreas urbanas	- Concentración de contaminantes en el aire
		ENV3	Emisiones de contaminantes de los sistemas de energía	- Emisiones contaminantes al aire
Agua	Calidad del agua	ENV4	Descargas contaminantes en efluentes líquidos desde los sistemas de energía incluyendo descargas de petróleo	- Descargas contaminantes en efluentes líquidos
Suelo	Calidad del suelo	ENV5	Área de suelo donde la acidificación excede la carga crítica	- Área de suelo afectada - Carga crítica
	Bosque	ENV6	Grado de deforestación atribuido al consumo de energía	- Área de bosque en dos momentos diferentes - Utilización de la biomasa
		ENV7	Relación de residuos sólidos generados por unidades de energía producida	- Cantidad de residuos sólidos - Energía producida
Suelo	Generación y manejo de residuos sólidos	ENV8	Relación de residuos sólidos con disposición final adecuada del total de residuos sólidos generados	- Cantidad de residuos sólidos con disposición final adecuada - Cantidad total de residuos sólidos
		ENV9	Relación de residuos sólidos radioactivos por unidades de energía producida	- Cantidad de residuos sólidos radioactivos (acumulable para un período de tiempo determinado) Energía producida
		ENV10	Relación de residuos sólidos radioactivos en espera de disposición del total de los residuos radiactivos generados	- Cantidad de residuos sólidos radioactivos en espera de disposición - Volumen total de residuos radiactivos

Fuente: IAEA, 2005.

Con base en los indicadores internacionales y nacionales encontrados y mostrados en este capítulo, se presentan a continuación aquellos que se consideran de utilidad en la evaluación de la sustentabilidad de la energía eólica en México.

Se seleccionaron 12 aspectos ambientales, 11 económicos, 7 aspectos sociales y 4 aspectos institucionales. Cabe mencionar que, por tratarse de una ponderación subjetiva, únicamente se considerará calificar como ‘impacto positivo’ (+) o ‘impacto negativo’ (-) en cada rubro sobre los aspectos ambiental, económico, social e institucional que fueron tomados en cuenta.

### 6.2.2.1 Sustentabilidad ambiental

Aspectos Ambientales	Impacto
Enfoque integrado para la planificación y administración de recursos del suelo	+
Manejo de ecosistemas frágiles: Combate a la desertificación y la sequía	+
Manejo de ecosistemas frágiles: Desarrollo sustentable en áreas montañosas	+
Promoción de la agricultura sustentable y el desarrollo rural	+
Combate a la deforestación	+/-
Conservación de la diversidad biológica	-
Manejo ambientalmente limpio de la tecnología	+
Protección de la atmósfera	+
Emisiones de GEI por producción y uso de energía	+
Concentración de contaminantes en el aire	+
Emisiones contaminantes al aire	+
Descargas contaminantes en efluentes líquidos	+

Normalmente, el desarrollo de la generación eólica en México trae consigo importantes contribuciones a la protección ambiental. Sin embargo, en rubros como *combate a la deforestación* o *conservación de la diversidad biológica* se considera que esta tecnología no contribuye del todo ya que su uso no se encuentra relacionado con la reforestación en zonas que así lo requieran, sino con la ‘reubicación’ de árboles llegado el caso. Por otro lado, una de las principales razones de oposición al desarrollo de esta tecnología la representa la intervención con rutas de migración de diversas especies de aves y murciélagos.

En general y valorando los pros de la tecnología (1½/12), ésta puede considerarse como ambientalmente sustentable.

6.2.2.2 *Sustentabilidad económica*

Aspectos Económicos	Impacto
Uso de energía (suministro total de energía primaria, consumo final total y uso de electricidad)	+
Cambio de patrones de consumo	+
Transferencia de tecnología	+
Pérdidas en los sistemas de transformación, incluyendo pérdidas en la generación, transmisión y distribución de electricidad	-
Mecanismos y recursos financieros	+
Recursos totales estimados	+
Consumo de energía en el sector comercial y de servicios	+
Consumo doméstico de energía y uso final	+
Participación de energía sin emisiones de carbono en energía y electricidad	+
Oferta de energía renovable en energía y electricidad	+
Dependencia neta de la importación de energía (disminución)	+

Por tratarse de una tecnología que por sus características puede desarrollarse cerca de las poblaciones con necesidades energéticas, la eólica no representa pérdidas por transmisión o distribución como con en el caso de las fuentes convencionales. Su ampliación implica impactos positivos en la economía, tanto a pequeña escala (por promover y generar fuentes de empleo locales) como a gran escala, principalmente porque significaría, entre otras cosas, disminuir la inversión destinada a la adquisición de combustibles fósiles y el aprovechamiento de los incentivos internacionales existentes (bonos de carbono, MDL).

Teniendo en cuenta los impactos en cada aspecto económico seleccionado, ésta tecnología se estima como sustentable al evaluar como aceptables los 11 puntos analizados (11/11).

6.2.2.3 *Sustentabilidad social*

Aspectos Sociales	Impacto
Combate a la pobreza	+
Dinámica demográfica y sustentabilidad	+
Promoción de la educación, la concientización pública y la capacitación	+
Generación de empleos	+/-
Protección y promoción de la salud humana	+
Promoción del desarrollo de asentamientos humanos sustentable	+/-
Muertes anuales por la cadena de combustible	-



Dentro de los aspectos sociales seleccionados, la generación eólica de electricidad difícilmente resulta tener un impacto positivo en la generación de empleos o en la promoción del desarrollo de asentamientos humanos sustentable. Se debe recordar que los empleos generados, en su mayor parte son temporales; por otro lado hablar de la promoción de asentamientos humanos sustentables es poco factible pues las localidades ya se han encontrado sentadas antes de que los proyectos eólicos que se hayan llevado a cabo.

La sustentabilidad social de la generación eólica en este rubro es aceptable, ya que se le asigna un valor de 5/6.

#### 6.2.2.4 Aspecto institucional

Aspectos Institucionales	Impacto
Integración del ambiente y el desarrollo en la toma de decisiones	+
Instrumentos y mecanismos legales internacionales	+
Información para la adopción de decisiones	+
Fortalecimiento del papel de los grupos principales	+

Las actuales políticas en materia no sólo de generación con base en energía eólica, sino con fuentes renovables de energía se han creado con el fin de dar cumplimiento a los requerimientos internacionales de disminución GEI como manera de abatir el cambio climático antropogénico. Se ha vislumbrado la participación de todos los sectores interesados de la población en el desarrollo de estas políticas, por tal motivo se ha considerado que el impacto de los aspectos institucionales es positivo al lograr una puntuación de 4/4.

## 6.3 CONCLUSIÓN

Son numerosos los aspectos ambientales que se conocen y consideran dentro del desarrollo de la generación eólica de electricidad. En México, la ubicación geográfica de las zonas de mayor potencial eólico representa pocos efectos negativos. Sin embargo, permanecen constantes las afectaciones a la fauna que emplea y sobrevuela por las corrientes de aire existentes interviniendo en las rutas migratorias que ponen en peligro la vida de aves y murciélagos.

Económicamente, la energía eólica no representa pérdidas por transmisión o distribución de electricidad y puede llegar a las poblaciones que se encuentran fuera del alcance de las líneas de distribución. Se pueden generar fuentes de empleo locales y se estaría dejando de comprar combustibles fósiles a precios elevados. La energía eólica representa ingresos por concepto uso de energía limpia (en forma de incentivos) ya que su uso representa la mitigación de emisiones de GEI necesaria en la lucha contra el cambio climático.

Dentro de la parte económica y con el fin de complementar un análisis de la sustentabilidad de la generación eólica debe incluirse el costo del reciclaje de los componentes; en caso de ser éstos incluidos

en un nuevo proceso productivo, se tendrán impactos positivos y los costos propios de la disposición final de aquellos materiales que no han podido ser reciclados o reutilizados podrían minimizarse, como lo exponen Ruhul Kabir y sus colaboradores [Ruhul Kabir, Md., et al., 2012]. Hay que recordar que en México aún no se dispone de esta información pues en su mayoría, los campos eólicos aún no concluyen su tiempo de operación estimado.

Socialmente, el aprovechamiento de la energía eólica generalmente representa generación de empleos (temporales) y el consecuente incremento en el nivel de vida de la población por la disponibilidad misma de la electricidad, la creación de vías de acceso y el incremento en la salud humana por disminución de emisiones contaminantes.

La participación institucional dentro de la generación eólica de electricidad se ha incrementado en los últimos meses y es a partir de ésta que se pretende sentar las bases para dar cumplimiento a los requerimientos internacionales de luchar contra el cambio climático. En este sentido, el sector industrial, el académico y el institucional se encuentran trabajando de manera conjunta.

---

---

## 7 CONCLUSIONES

La acelerada disminución de combustibles fósiles y lo intrincado del terreno en el que se encuentran algunas poblaciones ha sido el detonante del uso de las fuentes renovables de energía en el mundo. La energía eólica ha sido utilizada en la satisfacción de necesidades básicas pero, si bien perdió terreno con la penetración de los combustibles fósiles en la vida cotidiana, las consecuencias de su uso ineficiente han ocasionado que se ponga nuevamente la atención en la fuerza del viento.

En comparación con otros países México cuenta con un potencial eólico envidiable; sin embargo, aún no es posible lograr su uso al 100%. El desarrollo tecnológico en el país aún es insipiente y sólo hasta los últimos años lentamente se ha integrado a la generación eólica dentro de las tecnologías de generación de electricidad en respuesta a las políticas públicas en la lucha contra el cambio climático. El tema del cambio climático ha estado presente en la política ambiental desde hace varios años. Al respecto se ha observado que el sector energético representa parte importante de las fuentes generadoras de GEI. Las fuentes renovables de energía son la opción de generación más limpia y sustentable de energía.

La manera en la que la generación eólica se ha integrado a la matriz energética en otros países ha sido mediante incentivos de mercado, ya sea en forma de subsidios a la inversión, incentivos fiscales o como pagos de estímulos por la energía producida. En México el potencial aprovechable y los beneficios de la generación eoloeléctrica podrían justificar su incentivación fiscal a través premios por la electricidad limpia producida. Sin embargo, los esquemas de financiamiento deben reformularse de acuerdo a los actuales requisitos energéticos y ambientales a fin lograr beneficios sociales y de evitar en lo posible afectaciones económicas en el sector eléctrico nacional.

En 2011 se modificaron distintos artículos de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética con el fin de resaltar la necesidad de crear una metodología de evaluación de las externalidades propias de la generación de electricidad con fuentes renovables y no renovables. Siendo uno de los primeros pasos en lograr una adecuada legislación para el aprovechamiento sustentable de las energías renovables. Se plantearon metas de penetración de las fuentes renovables y disminución del uso de combustibles fósiles en el sector eléctrico.

El desarrollo eólico se ha favorecido con las crisis petroleras y ambientales sucedidas a nivel mundial en los últimos años. Pero la eólica no sólo cuenta con beneficios ambientales, también genera beneficios sociales y económicos a una comunidad (empleos, disponibilidad y suministro de energía eléctrica; en general, incremento en el nivel de vida de las poblaciones cercanas a los campos de generación eólica). No obstante, no siempre se reporta un beneficio social y los únicos que se han visto favorecidos han sido los prestadores del servicio (particulares). Por ello, se hace necesaria la revisión de las condiciones en las que se realizan los proyectos y fomentar un desarrollo sustentable en el que el daño al ambiente se evite y las comunidades se vean beneficiadas social y económicamente.

Por otra parte, con los incentivos adecuados, podría llegar a tener el crecimiento similar al de otros países del mundo. Un incentivo que dio resultado en los Estados Unidos fue el fondo verde. Sin embargo, la asignación de este tipo de recursos se debe realizar de manera transparente y sin que se vean en riesgo las actividades del Sistema Eléctrico Nacional. Por un lado el control de dicho fondo debe estar en manos de

---

una institución independiente, que defina claramente los procedimientos a seguir referentes a la asignación de los fondos. El financiamiento debe ser sustentable y proceder del presupuesto federal.

Como medida de protección de los intereses del sector eléctrico nacional, se propone la elaboración de contratos bajo un esquema de riesgo compartido, así se podría evitar que sólo la Comisión Federal de Electricidad corra con los riesgos que implica el desarrollo de un proyecto eólico, así como con los gastos de construcción, operación y mantenimiento.

Desafortunadamente, aún se consideran riesgosas las inversiones no sólo en energía eólica, sino en los proyectos de generación con fuentes renovables de energía. Esta inseguridad se percibe no sólo en México, también en el resto del mundo. Como ejemplo nuevamente está el caso de los Estados Unidos, país que ha buscado incluso recursos europeos bajo condiciones desfavorables. Se piensa que la intermitencia del recurso y la ubicación de los campos eólicos son factores que incrementan los costos de la energía. En México existen imprecisiones derivadas de las actuales modificaciones en la legislación actual, por ejemplo, falta definir si un productor externo debe construir líneas de transmisión o debe esperar a que la CFE lo haga. También se ha hablado de generar una metodología más clara respecto al cálculo del costo de porteo.

La participación institucional dentro de la generación eólica de electricidad se ha incrementado en los últimos meses y es a partir de ésta que se pretende sentar las bases para dar cumplimiento a los requerimientos internacionales de lucha contra el cambio climático. En este sentido, los sectores industrial, académico y el institucional se encuentran trabajando de manera conjunta.

El uso de incentivos fiscales alienta el desarrollo de la generación eólica, se disminuyen sus costos y se contribuye a acelerar la transición hacia las fuentes renovables de generación en el sector eléctrico, lo que ha sido el objetivo en los últimos años y así lograr llegar a un desarrollo sustentable.

Los costos de la energía eólica se ven incrementados tanto por la intermitencia del recurso como por la ubicación de los campos eólicos. En México existe la desventaja de que aún no se especifica si un productor externo de la CFE debería esperar a que ésta construya las líneas de transmisión que necesita el productor o sea éste quien deba hacerlo. Por otro lado, el cálculo del costo de porteo es poco fiable pues la metodología de obtención es poco clara.

Los costos de producción son distintos en cada país, ello principalmente debido a que son función directa de los recursos disponibles, condiciones fiscales y precios de la electricidad según la tecnología y combustibles empleados, entre otros. Es necesario buscar la mayor ventaja (económica, ambiental y social) para la nación y no sólo para el productor de la energía en cuanto a incentivos se refiere con el fin de lograr el desarrollo eólico mexicano, logrando así disminuir costos.

Se debe incluir el costo del reciclaje de los componentes de los aerogeneradores; en caso de ser éstos incluidos en un nuevo proceso productivo, se tendrán impactos positivos y los costos propios de la disposición final de aquellos materiales que no han podido ser reciclados o reutilizados podrían minimizarse; no obstante, en México no se dispone de esta información pues en su mayoría, los campos eólicos aún no concluyen su tiempo de operación estimado.

En cuestión de emisiones contaminantes por la manufactura de las turbinas eólicas, se encontró que si son fabricadas en el país se tendrían menores emisiones contaminantes. Por otro lado, del total de componentes que integran una turbina eólica, la de mayor impacto es la nacelle. La disminución de los impactos ambientales depende del avance en la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías en materiales que permitan la construcción de turbinas más eficientes y resistentes a las condiciones climatológicas en las que sean erigidas.

Si bien ya se han realizado ACV respecto a materiales usados en la fabricación de los aerogeneradores, es poco apropiado compararlos directamente debido a los supuestos que se consideran en el Ciclo de Vida, incluidos el tamaño, la capacidad, el tipo de materiales usados, la electricidad requerida, la región geográfica y la metodología para estimar los impactos ambientales.

La fabricación de estas turbinas en México trae consigo la reducción de emisiones a nivel global y el desarrollo de la tecnología eólica mexicana; a su vez, se deberá pensar en el diseño de políticas públicas orientadas a la reducción de gases de efecto invernadero basadas en las observaciones y hallazgos encontrados por los investigadores y desarrolladores mexicanos.

Implícitamente con el desarrollo de una industria eólica 100% mexicana, se espera un incremento del nivel de vida de la población a través de la generación de empleos, de la disminución de enfermedades relacionadas con emisiones contaminantes que habrían de evitarse, así como una mejora en la economía local.

Los beneficios sociales o afectaciones relacionadas con cualquier tipo de proyecto, generalmente no se dan a conocer y tiende a darse mayor importancia a los beneficios económicos o efectos ambientales adversos. Mediante la estimación de los efectos sociales se pueden identificar las consecuencias sociales debidas al desarrollo de un proyecto. Los impactos sociales serán todas las consecuencias sociales y culturales de cualquier acción pública o privada que alteren la forma de vida, el trabajo, el esparcimiento, la manera en que los individuos se relacionen entre sí, la organización para satisfacer sus necesidades y sus relaciones como miembros de la sociedad.

Los efectos sociales deberán beneficiar a desarrolladores y a los habitantes. Están muy relacionados con los aspectos económicos, lo que hace difícil separarlos. Actualmente su evaluación ha tomado importancia y está ligada a una producción más responsable. No obstante, en México se carece de una base de datos completa y/o confiable. La determinación de los efectos sociales se hace a través de indicadores cuya valoración es subjetiva. Éstos son recabados en las comunidades en las que se desarrolla el proyecto.

El aprovechamiento de la energía eólica generalmente representa generación de empleos que suelen ser temporales, pero ello no impide que se dé un incremento en el nivel de vida de la población por la disponibilidad misma de la electricidad, la creación de vías de acceso y el incremento en la salud humana por disminución de emisiones contaminantes, entre otros factores.

Finalmente, considerando los valores deducidos a partir de la información de los capítulos precedentes, la tecnología eólica se presenta como una oportunidad sustentable de generación eléctrica en México ya que se posiciona como una medida de mitigación del cambio climático, no sólo local sino también global, por

---

la disminución de GEI, como una fuente de ingresos a través de los incentivos fiscales que existen (nacional e internacionalmente) y como una manera de incrementar el nivel de vida de México pues su desarrollo genera fuentes de empleo, permite la disponibilidad de luz eléctrica a sectores de la población que con las formas tradicionales de generación era difícil interconectarlas al sistema de distribución e impacta de manera positiva en la salud humana. Lo anterior acompañado de un marco regulatorio que busca la participación de las partes interesadas y que está enfocado en el objetivo internacional de transitar hacia el uso de energías más limpias.

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ackermann, Thomas; Söder, Lennart, 2002. *An overview of wind energy-status 2002*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, **6** (2002) 67–128. <[http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/WebHelp/media%5CLecture\\_notes%5Cwind.pdf](http://www.energy.kth.se/compedu/webcompedu/WebHelp/media%5CLecture_notes%5Cwind.pdf)>.
2. ANES, 2007. Asociación Nacional de Energía Solar. *Boletín de la Asociación Nacional de Energía Solar*, Abril de 2007. <<http://www.anes.org/publicaciones/boletin/boletin407.pdf>>.
3. Asociación Mexicana de Energía Eólica. (AMDEE), 2009. [En línea] 2009. [Consulta: 21 de junio de 2012.] <<http://amdee.org/Proyectos/Proyectos%20Elicos%20en%20Mexico%202011.pdf>>.
4. Asociación Mexicana de Energía Eólica. (AMDEE), 2012. Proyectos eólicos en operación en México, AMDEE, México, 2012. Available from: <http://amdee.org/Proyectos/ProyectosEolicosenMexico2012dic.pdf>. [Consulta: 17 de enero 2013),
5. Ayala Espino, José, 1999. *Instituciones y economía. Una introducción al neoinstitucionalismo económico*. Fondo de cultura económica. 3ª reimpresión, 2011. México; D. F.
6. Ayala Espino, José, 2003. *Instituciones para mejorar el desarrollo. Un nuevo pacto social para el crecimiento y el bienestar*. Fondo de cultura económica. 1ª reimpresión, 2011. México; D. F.
7. Banco Mundial, 2009. *México: estudio sobre la disminución de emisiones de carbono (MEDEC)*. [pdf] Primera Edición en Castellano. Colombia: Mayol Ediciones S.A. Disponible en: <[http://siteresources.worldbank.org/INTLACINSPANISH/Resources/WB\\_MX\\_MEDEC\\_Spanish\\_Final\\_Nov\\_09.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTLACINSPANISH/Resources/WB_MX_MEDEC_Spanish_Final_Nov_09.pdf)>. [Consulta: 03 de julio de 2012].
8. Banco Mundial, 2014. *Países miembros de la Asociación para la Preparación de Mercados desarrollan estrategias de acción climática*. Comunicado de prensa. <<http://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2014/03/05/mexico-advances-carbon-pricing-scheme-climate-change>>. [Consulta: 07 de enero de 2015].
9. Barringer, H. Paul; Barringer, P.E. & Associates, Inc., 2003. *A Life Cycle Cost Summary*. International Conference of Maintenance Societies (ICOMS<sup>®</sup>-2003).
10. Batumbya Nalukowe, Barbara; Liu, J Jianguo; Damien, Wiedmer; Lukawski, Tomasz, 2006. *Life Cycle Assessment of a Wind Turbine*. *Life Cycle Assessment*, 1N1800.
11. Benoit, Catherine; Norris, Gregory, A.; Valdivia, Sonia; Ciroth, Andreas; Moberg, Asa; Bos, Ulrike; Prakash, Siddarth; Ugaya, Cassia; Beck, Tabea, 2010. *The guidelines for social life cycle assessment of products: just in time!* Int. J. Cycle Assess (2010).
12. Borja Díaz, Marco Antonio R.; González Galarza, Raúl; Mejía Neri, Fortino; Huacuz Villamar, Jorge M.; Saldaña Flores, Ricardo; Medrano Vaca, María Consolación, 1998. *Estado del arte y tendencias de la tecnología eoloeléctrica*. Instituto de Investigaciones Eléctricas, UNAM.
13. Borja Díaz, Marco Antonio R.; Jaramillo Salgado, Oscar A.; Mimiaga Sosa, Fernando, 2005. *Primer Documento del Proyecto Eoloeléctrico del Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec*. Instituto de Investigaciones Eléctricas, UNAM.
14. Brown, Marilyn A. and Sovacool, Benjamin K., 2007. *Developing an 'Energy Sustainability Index' to evaluate Energy Policy*. Interdisciplinary Science Reviews, Vol. 32, No. 4. <http://hdl.handle.net/1853/23886>
15. Cancino-Solórzano, Yoreley; Gutiérrez-Trashorras, Antonio J.; Xiberta-Bernat, Jorge. Current state of wind energy in Mexico, achievements and perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15 (2011) 3552–3557.

16. Centre for Good Governance, 2006. *A Comprehensive Guide for Social Impact Assessment*. <<http://unpan1.un.org/intradoc/groups/public/documents/cgg/unpan026197.pdf>>
17. CEPAL, 2009. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. *Guía metodológica. Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. [Consultado: mayo 25, 2012] <<http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/7/36127/W255-2.pdf>>.
18. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. (CICC), 2009. *Programa Especial de Cambio Climático (PECC 2009 – 2012)*. [pdf] México, D.F.: Diario Oficial de la Federación (DOF). <[http://www.semarnat.gob.mx/programas/Documents/PECC\\_DOF.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/programas/Documents/PECC_DOF.pdf)>. [Fecha de consulta: 03 de julio de 2012].
19. Comisión estatal de energía de Baja California, 2009. *Parque eólico La Rumorosa I*. [Consultado: diciembre 20, 2011] <<ftp://download.cocef.org/PERMANENTE/TallerCambioClimatico-MTY/Presentaciones/Apr-23/1415-CasosEstudio/JGutierrez-ParqueEolico.pdf>>.
20. Comisión Federal de Electricidad. (CFE), 2011. *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico, 2011-2025*. Subdirección de Programación. Coordinación de Planificación. <[http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/\\_layouts/mobile/dispform.aspx?List=02198503-8a91-4a57-904d-d6558215bdf4&View=58b9a1a3-b23d-4a10-8b97-6e7c19221302&ID=7](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/_layouts/mobile/dispform.aspx?List=02198503-8a91-4a57-904d-d6558215bdf4&View=58b9a1a3-b23d-4a10-8b97-6e7c19221302&ID=7)>.
21. Comisión Federal de Electricidad. (CFE), 2013a. *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico, 2012-2026*. Subdirección de Programación. Coordinación de Planificación. <[http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/\\_layouts/mobile/dispform.aspx?List=02198503-8a91-4a57-904d-d6558215bdf4&View=58b9a1a3-b23d-4a10-8b97-6e7c19221302&ID=7](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/_layouts/mobile/dispform.aspx?List=02198503-8a91-4a57-904d-d6558215bdf4&View=58b9a1a3-b23d-4a10-8b97-6e7c19221302&ID=7)>.
22. Comisión Federal de Electricidad. (CFE), 2013b. [http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/Estadisticas/Paginas/Centrales-generadoras.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/Estadisticas/Paginas/Centrales-generadoras.aspx) (assessed on 01/22/2013).
23. Comisión Federal de Electricidad. (CFE), 2013c. *Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión del sector eléctrico, COPAR 2013*. Generación.
24. Comisión Federal de Electricidad. (CFE), 2014. *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico, 2014-2028*. Subdirección de Programación. Coordinación de Planificación.
25. Comisión Federal de Electricidad. (CFE), 2015. *Ley de la Industria Eléctrica*. Marco Legal y Normativo. Leyes. <[http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercadeCFE/MarcoLegalYNormativo/Lists/Leyes1/Attachments/26/Leydelaindustriaelectrica11ago.pdf](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercadeCFE/MarcoLegalYNormativo/Lists/Leyes1/Attachments/26/Leydelaindustriaelectrica11ago.pdf)>.
26. Comisión Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. CONEVAL, 2014. *Medición de la Pobreza. ¿Qué es el índice de rezago social?* <<http://www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Que-es-el-indice-de-rezago-social.aspx>>.
27. Comisión Reguladora de Energía. (CRE), 2014. <<http://www.cre.gob.mx/>>.
28. Comisión Reguladora de Energía. (CRE), 2015. <<http://www.cre.gob.mx/documento/1565.pdf>>.
29. Consejo Nacional de Población. (CONAPO), 2011. *Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010*. <[http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices\\_de\\_Marginacion\\_2010\\_por\\_entidad\\_federativa\\_y\\_municipio](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Marginacion_2010_por_entidad_federativa_y_municipio)>.
30. Crawfor, Rober H, 2009. *Life cycle energy and greenhouse emissions analysis of wind turbines and the effect of size on energy yield*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **13**:9, 2653-2660.
31. Curran, Mary Ann; Notten, Philippa; Chayer, Julie-Ann; Cicas, Gyorgyi, 2006. *Summary of Global Life Cycle Inventory Data Resources*. SETAC/UNEP Life Cycle Initiative.
32. Demirbas, Ayhan, 2008. *The Sustainability of Combustible Renewables*. *Energy Sources, Part A*, **30**:1114–1119. <http://dx.doi.org/10.1080/15567030701258261>



33. Diario Oficial de la Federación. (DOF), 2008. *Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*. DOF (28-11-2008). <[www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LASE.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LASE.pdf)>.
34. Diario Oficial de la Federación. (DOF), 2013. *Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética*. Modificación. DOF (07/06/2013). <<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAERFTE.pdf>>.
35. Diario Oficial de la Federación. (DOF), 2014a. *Ley de inversión extranjera*. Última Reforma DOF (10-01-2014). Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis. <<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/44.pdf>>.
36. Diario Oficial de la Federación. (DOF), 2014b. *Ley General de Cambio Climático*. DOF (29-12-2014). <[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC\\_291214.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_291214.pdf)>.
37. Diario Oficial de la Federación. (DOF), 2014c. *Reglas de operación del fideicomiso público de administración y pago denominado 'Fondo para la transición energética y el aprovechamiento sustentable de la energía'*. (03-06-2014). Secretaría General. Secretaría de Servicios Parlamentarios. Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis. <[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5331192&fecha=30/01/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5331192&fecha=30/01/2014)>.
38. Diario Oficial de la Federación. (DOF), 2015. *Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, LGEEPA*. Última reforma publicada DOF (09-01-2015). <[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148\\_090115.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_090115.pdf)>.
39. Dismukes, J.; Miller, L. & Bers, J. *The industrial life cycle of wind energy electrical power generation ARI methodology modeling of life cycle dynamics*. Technical note. Technological Forecasting & Social Change, **76** (2009) 178–191.
40. Elsam Engineering A/S. Elsam Eng., 2004. *Life Cycle Assessment of offshore and onshore sited wind farms*. Vestas Wind Systems A/S (The Danish Elsam Engineering report 186768, Denmark, 2004).
41. Environmental Protection Agency. EPA. May 2006. *Life Cycle Assessment: principles and practice*. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency. <<http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/pdfs/600r06060.pdf>>.
42. Environmental Protection Agency. EPA, 2010. *Life-Cycle Assessment (LCA)*. Life Cycle Assessment Research. <<http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/>>.
43. Estrategia Nacional de Cambio Climático. Visión 10-20-40. ENCC, 2013. Gobierno de la República. <<http://www.encc.gob.mx/documentos/estrategia-nacional-cambio-climatico.pdf>>.
44. Fernández Latorre, Francisco, 2006. *Indicadores de sostenibilidad y medio ambiente; métodos y escala*. <[http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques\\_Tematicos/Sostenibilidad/Estrategia\\_andaluza\\_desarrollo\\_sostenible/libro\\_indicadores\\_sostenibilidad/1\\_portada\\_e\\_indice.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/Sostenibilidad/Estrategia_andaluza_desarrollo_sostenible/libro_indicadores_sostenibilidad/1_portada_e_indice.pdf)>
45. Gagnon, L.; Belanger, C.; Uchiyama, Y., 2002. *Life-cycle assessment of electricity generation options: the status of research in year 2001*, Energy Policy 30 (14) (2002) 1267-1278.
46. Garrett, P. & Rønde, K., 2011. '*Life Cycle Assessment of Electricity Production from a V80-2.0MW. Gridstreamer Wind Plant*'. Vestas Wind Systems A/S, 2011.
47. Garrett, P. & Rønde, K. '*Life cycle assessment of wind power: comprehensive results from a state-of-the-art approach*'. Int J Life Cycle Assess, **18** (2013) 37–48.
48. Gauthier, Caroline. 2005. *Measuring Corporate Social and Environmental Performance: The Extended Life-Cycle Assessment*. Journal of Business Ethics (2005) **59**: 199-206.

49. German Wind Energy Association. (GWEA), 2010. *More wind power capacity installed last year in the EU than any other power technology*, 03.02.2010. <<http://www.wind-energie.de/en/news/article/more-wind-power-capacity-installed-last-year-in-the-eu-than-any-other-power-technology/166/>>. [Consulta: 28 noviembre, 2010].
50. German Wind Energy Association. (GWEA), 2011. *Wind in power - 2010 European Statistics*. The European Wind energy association. <[http://ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/statistics/EWEA\\_Annual\\_Statistics\\_2010.pdf](http://ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/statistics/EWEA_Annual_Statistics_2010.pdf)>.
51. González Galarza R., Franco Nava, J. M., Carvajal Martínez F. A., Jiménez Grajales H. R., Silva Farías J. L., Garduño Ramírez R., Torres Contreras I. *Desarrollo de la Máquina Eólica Mexicana en el IIE: proyecto MEM*. Boletín IIE. abril-junio-2013. Artículo técnico.
52. Greening, Benjamin and Azapagic, Adisa , 2013 Environmental impacts of micro-wind turbines and their potential to contribute to UK climate change targets, *Energy* **59**, 454-466
53. Guezuraga, Begoña; Zauner, Rudolf; Polz, Werner, 2012. *Life cycle assessment of two different 2 MW class wind turbines*, *Renewable Energy* 37:1, 37-44.
54. Guinée, J. et al., *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards, first ed.* Kluwer Academic Publishers, USA, 2002.
55. Harris, Jonathan M., Feb 2003. *Sustainability and Sustainable Development*. <[http://www.ecoeco.org/education\\_encyclopedia.php](http://www.ecoeco.org/education_encyclopedia.php)>.
56. Hondo, H., 2005. *Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case*. *Energy* 30 (11-12) (2005) 2042-2056.
57. Huacuz Villamar, Jorge M., 2003. *Energías renovables: ¿opción real para la generación eléctrica en México?* Boletín IIE, octubre-diciembre del 2003. Instituto de Investigaciones en Energía. <[www.iie.org.mx/boletin042003/inv.pdf](http://www.iie.org.mx/boletin042003/inv.pdf)>.
58. Huacuz Villamar, Jorge M., 2008. *Máquina Eólica Mexicana (proyecto MEM)*. Boletín IIE. Breves técnicas. <<http://www.iie.org.mx/boletin022008/breves03.pdf>>.
59. Instituto de Investigaciones Jurídicas, 2015. *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. UNAM. <<http://info4.juridicas.unam.mx/ijure/fed/9/default.htm?s=>>>.
60. Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República (IILSEN), Centro de Investigación en Energía (CIE-UNAM), 2004. *Nuevas Energías Renovables: una alternativa energética sustentable para México*.
61. Instituto Global para la Sostenibilidad. (IGS), 2014. *Energías renovables para la competitividad en México*. <[http://www.igs.org.mx/sites/default/files/ENERGIASRENOVABLES\\_22MAYO\\_WEB.pdf](http://www.igs.org.mx/sites/default/files/ENERGIASRENOVABLES_22MAYO_WEB.pdf)>.
62. Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (IMCO), 2011. *Programa especial de cambio climático para el periodo 2012-2020 con acciones adicionales y análisis de potencial*. México: PNUMA.
63. Instituto Nacional de Ecología. (INE), 2010. *Potencial de Mitigación de gases de efecto invernadero en México al 2020 en el contexto de la Cooperación Internacional*. [pdf] Nota Informativa del Instituto Nacional de Ecología. <[http://www2.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/Potencial\\_mitigacion\\_GEI\\_Mexico\\_2020\\_COP.pdf](http://www2.ine.gob.mx/descargas/cclimatico/Potencial_mitigacion_GEI_Mexico_2020_COP.pdf)>. [Fecha de consulta: 03 de julio de 2012].
64. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. (INECC-Semarnat), 2012. *México. Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/685.pdf>>.

- 
65. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (INE-Semarnat), 2006. *México. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. <<http://unfccc.int/resource/docs/natc/mexnc3.pdf>>.
  66. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Instituto Nacional de Ecología. (INEGI-INE), 2000. *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*. <[http://www.inegi.gob.mx/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/especiales/indesmex/2000/ifdm2000f.pdf](http://www.inegi.gob.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/especiales/indesmex/2000/ifdm2000f.pdf)>.
  67. International Atomic Energy Agency. (IAEA), 2005. *Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies*. Viena. <[http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222\\_web.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1222_web.pdf)>.
  68. International Electrotechnical Commission. (IEC), 2007. *Strategic Policy Statement*. [en línea]: Wind turbines. [Holanda]: <[http://www.iec.ch/cgi-bin/getfile.pl/sps\\_88.pdf?dir=sps&format=pdf&type=&file=88.pdf](http://www.iec.ch/cgi-bin/getfile.pl/sps_88.pdf?dir=sps&format=pdf&type=&file=88.pdf)> [Consulta: 19 junio 2011].
  69. International Energy Agency. (IEA), 2011. *IEA Wind Task 26. Multi-national Case Study of the Financial Cost of Wind Energy*. Work Package 1 Final Report. March 2011. <<http://www.ieawind.org/IndexPagePOSTINGS/IEA%20WIND%20TASK%2026%20FULL%20REPORT%20FINAL%2003%2010%2011.pdf>>.
  70. International Energy Agency. (IEA), 2013. *Technology Roadmap. Wind energy*. 2013 edition.
  71. IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
  72. ISO, 2006. ISO 14040. Environmental management—life cycle assessment—principles and framework. International Standard Organization, Geneva.
  73. ISO, 2006. ISO 14044: Environmental management—life cycle assessment—requirements and guidelines. International Standard Organization, Geneva.
  74. Juárez-Hernández, Sergio y León, Gabriel, 2014. *Energía eólica en el istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social*. *Revista Problemas del Desarrollo*, 178 (45), julio-septiembre.
  75. Kaldellis, John K. y Zafirakis, D., 2011. *The wind energy (r)evolution: A short review of a long history*. [prod.] Renewable Energy. s.l.: Elsevier Ltd., 2011. Vol. 36.
  76. Lenzen, M. & Munksgaard, J., 2002. *Energy and CO<sub>2</sub> life-cycle analyses of wind turbines—review and applications*. *Renewable Energy*, **26** (2002) 339–362.
  77. Martínez, E.; Sanz, F.; Pellegrini, S.; Jiménez, E.; & Blanco, J., 2009a *Life-cycle assessment of a 2-MW rated power wind turbine: CML method*. *Int J Life Cycle Assess*, **14** (2009) 52–63.
  78. Martínez, E.; Sanz, F.; Pellegrini, S.; Jiménez, E.; & Blanco, J., 2009b. *Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine*. *Renewable Energy*, **34** (2009) 667–673.
  79. Martínez, E.; Jiménez, E.; Blanco, J.; Pérez, M., 2010a. Chap. 23: *Environmental Impact of Modern Wind Power under LCA Methodology*. *Wind Power*. Book edited by: S. M. Muyeen. ISBN 978-953-7619-81-7, pp. 558, June 2010, InTech, <[http://cdn.intechopen.com/pdfs/9565/InTech-Environmental\\_impact\\_of\\_modern\\_wind\\_power\\_under\\_lca\\_methodology.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/9565/InTech-Environmental_impact_of_modern_wind_power_under_lca_methodology.pdf)>.
  80. Martínez, E.; Jiménez, E.; Blanco, J.; Sanz, F., 2010b. *Life Cycle Assessment sensitivity of a multi-megawatt wind turbine*. [ed.] *Applied Energy*. Elsevier Ltd. **87** (2010) 2293–2303.
  81. McKinsey Co y CMM (Centro Mario Molina), 2008. *Low – Carbon Growth: A Potential Path for Mexico*. ESMAP (Energy Sector Management Assistance Program) [pdf] Borrador para discusión.
-

- World Bank and official donors from Australia, Austria, Denmark, France, Germany, Iceland, the Netherlands, Norway, Sweden, the United Kingdom, and the U.N. Foundation.
82. Medina-Ross, J. A.; Mata-Sandoval, J.C.; Lopez-Perez, R., 2005 *Indicators for sustainable energy development in Mexico*, Nat. Resour. Forum **29** (2005) 308-321.
  83. Moriarty, Patrick y Honnery, Damon. 2012. *What is the global potential for renewable energy?* Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier Ltd., 2012. Vol. 16.
  84. Müller, Anja; Wambach, Karsten; Alsema, Erik, 2006. *Life Cycle Analysis of a Solar Module Recycling Process*, 20th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Barcelona, Spain, WIP-Renewable Energies, Munich, Germany, p. 3211-3213.
  85. Oswald Spring, Úrsula; Brauch, 2009. *Seguritizedar la tierra y aterrizar la seguridad. Desertificación, degradación de la tierra y sequía*. Secretaría de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.
  86. Pehnt, Martin, 2006. *Dynamic life cycle assessment of renewable energy technologies*. Renewable Energy, **31** (2006) 55–71.
  87. Presidencia de la República. (PND), 2013. *Plan Nacional de Desarrollo, 2013-2018*. <<http://pnd.gob.mx/wp-content/uploads/2013/05/PND.pdf>>.
  88. Presidencia de la República. (PR), 2013a. *Explicación de la Reforma*. <<http://cdn.reformaenergetica.gob.mx/explicacion.pdf>>.
  89. Presidencia de la República. (PR), 2013b. *Reforma Energética. Decreto*. <<http://cdn.reformaenergetica.gob.mx/decreto-reforma-energetica.pdf>>.
  90. Presidencia de la República. (PR), 2013c. *Reforma Energética*. (12-09-2013). <[http://42f4af8e98d42ea6aec0-642e85483da5e12593522df60934559e.r38.cf2.rackcdn.com/Reforma\\_Energetica.pdf?d69ce00ebed7e4dde91f4ebfaac626fb](http://42f4af8e98d42ea6aec0-642e85483da5e12593522df60934559e.r38.cf2.rackcdn.com/Reforma_Energetica.pdf?d69ce00ebed7e4dde91f4ebfaac626fb)>.
  91. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (PNUD), 2014. *Índice de Desarrollo Humano Municipal en México: nueva metodología*. <[www.undp.org.mx/desarrollohumano](http://www.undp.org.mx/desarrollohumano)>.
  92. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (PNUD), 2012. *El Índice de Desarrollo Humano en México: cambios metodológicos e información para las entidades federativas*. <[www.undp.org.mx/desarrollohumano](http://www.undp.org.mx/desarrollohumano)>.
  93. PROMÉXICO, 2013a. *Energías renovables*. Producción. <[http://www.promexico.gob.mx/es\\_us/promexico/Renewable\\_Energy](http://www.promexico.gob.mx/es_us/promexico/Renewable_Energy)>.
  94. PROMÉXICO, 2013b. *Energías renovables*. <[http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/42/2/130726\\_DS\\_Energias\\_Renovables\\_ES.pdf](http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/42/2/130726_DS_Energias_Renovables_ES.pdf)>.
  95. PROMÉXICO, 2014a. *Energías renovables*. <[http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/42/3/FC\\_Energias\\_Renovables\\_ES.pdf](http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/42/3/FC_Energias_Renovables_ES.pdf)>.
  96. PROMÉXICO, 2014b. *Energías renovables*. <[http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/42/3/140909\\_DS\\_Energias\\_Renovables\\_ES.pdf](http://mim.promexico.gob.mx/work/sites/mim/resources/LocalContent/42/3/140909_DS_Energias_Renovables_ES.pdf)>.
  97. Rai, Varun and Victor, David G., 2009. *Climate Change and the Energy Challenge: A Pragmatic Approach for India*. (August 1, 2009). Economic and Political Weekly, Vol. 44, No. 31, 2009. Available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=1452868>.
  98. Rebitzer, G.; Ekvall, T.; Frischknecht, R.; Hunkeler, D.; Norris, G.; Rydberg, T.; Schmidt, W.-P.; Suh, S.; Weidema, B.P.; Pennington, D.W., 2004. *Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications*. Environment International.

- 
99. REN21. 2013. *Renewables 2013 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-9815934-0-2.
  100. REN21. 2014. *Renewables 2014 Global Status Report* (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-9815934-2-6.
  101. REVE, 2014. Revista eólica y del vehículo eléctrico. 'Árbol de viento', *innovadores aerogeneradores para producir eólica*. [En línea] <<http://www.evwind.com/2014/12/10/arbol-de-viento-un-aerogenerador-para-producir-energia-eolica/>> [Consulta: 22 de enero, 2015].
  102. Romero Hernández, Omar; Romero Hernández, Sergio; Wood, Duncan, 2011. *Energías Renovables: Impulso político y tecnológico para un México sustentable*. USAID, ITAM. 1ª edición.
  103. Ruhul Kabir, Md.; Rooke, Braden; Malinga Dassanayake, G. D.; Fleck, Brian A. 2012. *Comparative life cycle energy, emission, and economic analysis of 100 kW nameplate wind power generation*. *Renewable Energy* **37** (2012) 133-141.
  104. Santoyo-Castelazo, E.; Gujba, H. y Azapagic, A., 2011. *Life cycle assessment of electricity generation in Mexico*. [ed.] Elsevier Ltd. Manchester, UK. *Energy*, 2011. Vol. 36.
  105. Schleisner, L., 2000. *Life cycle assessment of a wind farm and related externalities*. *Renewable Energy*, **20** (2000) 279-288.
  106. Secretaría de desarrollo social, Sedesol, 2014. Sistema de Apoyo para la Planeación del PDZP <<http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/LocdeMun.aspx?tipo=clave&campo=loc&ent=20&mun=043>>.
  107. Secretaría de Energía. (SENER), 2007. *Balance Nacional de Energía 2006*. [www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Balance%20Nacional%20de%20Energia%202006.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Balance%20Nacional%20de%20Energia%202006.pdf).
  108. Secretaría de Energía. (SENER), 2008. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2008-2017*. <[www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Prospectiva%20SE%202008-2017.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva%20SE%202008-2017.pdf)>.
  109. Secretaría de Energía. (SENER), 2009a. *Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables*. <<http://www.sener.gob.mx/res/0/Programa%20Energias%20Renovables.pdf>>.
  110. Secretaría de Energía. (SENER), 2009b. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024*. <[www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Prospectiva\\_electricidad%20\\_2009-2024.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva_electricidad%20_2009-2024.pdf)>.
  111. Secretaría de Energía. (SENER), 2010. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025*. Secretaría de Energía, 2010.
  112. Secretaría de Energía. (SENER), 2011a. *Balance Nacional de Energía 2010*. México. <[http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2011/Balance%20Nacional%20de%20Energ%20C3%A1a%202010\\_2.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2011/Balance%20Nacional%20de%20Energ%20C3%A1a%202010_2.pdf)>.
  113. Secretaría de Energía. (SENER), 2011b. *Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía 2011*. México. <<http://www.sener.gob.mx/res/0/Estrategia.pdf>>.
  114. Secretaría de Energía. (SENER), 2012a. *Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México. Energía solar FV*.
  115. Secretaría de Energía. (SENER), 2012b. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2012-2026* <[http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR\\_ELECTRICO.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/1825/SECTOR_ELECTRICO.pdf)>.
  116. Secretaría de Energía. (SENER), 2012c. *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*.
-

- 
117. Secretaría de Energía. (SENER), 2013a. <[http://www.sener.gob.mx/portal/estadisticas\\_destacadas\\_del\\_sector\\_energetico.html](http://www.sener.gob.mx/portal/estadisticas_destacadas_del_sector_energetico.html)>.
  118. Secretaría de Energía. (SENER), 2013b. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2013-2027*. <[http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2013/Prospectiva\\_del\\_Sector\\_Electrico\\_2013-2027.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2013/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2013-2027.pdf)>.
  119. Secretaría de Energía. (SENER), 2013c. *Balance Nacional de Energía 2012. México*. <[http://beta.energia.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2012/Balance%20Nacional%20de%20Energia%202012%20\(Vf\).pdf](http://beta.energia.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/Balance%20Nacional%20de%20Energia%202012%20(Vf).pdf)>.
  120. Secretaría de Energía. (SENER), 2013d. *Prospectiva de Energías Renovables 2013-2027*. <[http://www.SENER.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2014/Prospectiva\\_Energias\\_Reno\\_13-2027.pdf](http://www.SENER.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2014/Prospectiva_Energias_Reno_13-2027.pdf)>.
  121. Secretaría de Energía. (SENER), 2013e. *Estrategia Nacional de Energía 2013-2027*.
  122. Secretaría de Energía. (SENER), 2014a. *Portal www.renovables.gob.mx*. <<http://www.renovables.gob.mx/portal/Default.aspx?id=1669&lang=1>>.
  123. Secretaría de Energía. (SENER), 2014b. *Prospectiva de Energías Renovables 2014-2028* <<http://sener.gob.mx/res/Prospectiva%20PER%202014%20-%202028.pdf>>.
  124. Secretaría de Energía. (SENER), 2014c. *Prospectiva del Sector Eléctrico 2014-2028* <[http://sener.gob.mx/res/prospectiva\\_de\\_electricidad\\_2014.pdf](http://sener.gob.mx/res/prospectiva_de_electricidad_2014.pdf)>.
  125. Secretaría de Energía. (SENER), 2015. *Proyectos de generación en proceso de construcción* <<http://egob2.energia.gob.mx/portal/electricidad.html>>.
  126. Secretaría de Energía. (SENER), Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), 2012. *Iniciativa para el desarrollo de las energías renovables en México. Energía eólica*.
  127. Secretaría de Energía. (SENER), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ, 2006. *Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México*. <[www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4830/2/ERM06.pdf](http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4830/2/ERM06.pdf)>.
  128. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (SHCP), 2014. *Ley del Impuesto sobre la Renta*. <[http://www.sat.gob.mx/informacion\\_fiscal/normatividad/Paginas/legislacion\\_normatividad\\_2014.aspx](http://www.sat.gob.mx/informacion_fiscal/normatividad/Paginas/legislacion_normatividad_2014.aspx)>.
  129. Sistema de Información Energética. (SIE). *Información Estadística*. [en línea]: Sector Energético. Secretaría de Energía, SENER. [México]: <<http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas&fromCuadros=true>> [Consulta: 2015].
  130. Soberanes Fernández, José Luis; Treviño Moreno, Francisco J., 1997. *El derecho ambiental en América del Norte y el sector eléctrico mexicano*. Universidad Nacional Autónoma de México-Comisión Federal de Electricidad. 1ª edición. ISBN 968-36-5795-8. Instituto de Investigaciones Jurídicas. <<http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/libro.htm?l=146> <http://biblio.juridicas.unam.mx/libros/libro.htm?l=146>>.
  131. Stranddorf, Heidi K.; Hoffmann, Leif; Schmidt, Anders, 2005. *Impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Danish Ministry of the Environment. Environmental Protection Agency. Environmental news No. 78 2005.
  132. Takada, Minoru; Fracchia, Silvia, 2007. *A Review of Energy in National MDG Reports*. United Nations Development Programme. <[www.energyandenvironment.undp.org/undp/indexAction.cfm?module=Library&action=GetFile&DocumentAttachmentID=2088](http://www.energyandenvironment.undp.org/undp/indexAction.cfm?module=Library&action=GetFile&DocumentAttachmentID=2088)>.
  133. The European Wind Energy Association. (EWEA), 2004. *Wind Energy - The Facts – an analysis of wind energy in the EU-25*.
-

- 
134. The European Wind Energy Association. (EWEA), 2011. *Wind in power: 2010 European statistics*. February 2011.
  135. The wind power, 2013a. *Wind turbine manufacturers*. Wind turbine and wind farms database. <[http://www.thewindpower.net/manuturb\\_manufacturers\\_en.php?tri=1](http://www.thewindpower.net/manuturb_manufacturers_en.php?tri=1)> [Consulta: 17 de enero 2013].
  136. The wind power, 2013b. Statistics. <[http://www.thewindpower.net/statistics\\_countries\\_en.php](http://www.thewindpower.net/statistics_countries_en.php)> [Consulta: 17 de enero 2013].
  137. The wind power, 2014. *Mexico*. Wind turbine and wind farms database. <[http://www.thewindpower.net/country\\_windfarms\\_en\\_36\\_mexico.php](http://www.thewindpower.net/country_windfarms_en_36_mexico.php)> [Consulta: 03 de enero 2014].
  138. Tremeac, Brice; Meunier, Francis, 2009. *Life cycle analysis of 4.5 MW and 250 W wind turbines*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13:8, 2104-2110.
  139. Turner E. Kerry; Pearce David and Baterman Ian (1993). *Environmental economics. An elementary introduction*. The Johns Hopkins University Press. Baltimore. Great Britain. <[http://web.boun.edu.tr/ali.saysel/Esc578/Pearce\\_and\\_Turner\\_Part%20I.pdf](http://web.boun.edu.tr/ali.saysel/Esc578/Pearce_and_Turner_Part%20I.pdf)>.
  140. U.S. Agency for International Development. (USAID), 2009. *Elementos para la promoción de la energía eólica en México*. Producción limpia y energía renovable. <<http://www.amdee.org/LiteratureRetrieve.aspx?ID=49061&A=SearchResult&SearchID=7564257&ObjectID=49061&ObjectType=6>>.
  141. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (UNESCO), 2006. Centro Unesco Melilla, 2006. *Preagenda 21*. <<http://www.melillasostenible.org/documentos/melillasostenible/Preagenda%20Centro%20UNESCO-Melilla.pdf>>.
  142. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (UNESCO), 2012. *Lo que usamos y lo que tenemos: huella ecológica y capacidad ecológica*. [en línea] Dr. Mathis Wackernagel. <[http://www.unescoetxea.org/ext/futuros/es/theme\\_b/mod09/uncom09t05s01.htm](http://www.unescoetxea.org/ext/futuros/es/theme_b/mod09/uncom09t05s01.htm)> [Consulta: 20 de abril 2012].
  143. United Nations Environmental Programme. (UNEP), 2009. *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products. Social and socio-economic LCA guidelines complementing environmental LCA and Life Cycle Costing, contributing to the full assessment of goods and services within the context of sustainable development*. Life Cycle Initiative. <<http://www.cdo.ugent.be/publicaties/280.guidelines-sLCA.pdf>>.
  144. Uranga Alvarado, Aimé, 2011. *El aprovechamiento eólico en México y el financiamiento social de proyectos de energía renovable*. Tesis doctoral.
  145. van Schooten M, Vanclay F, Slootweg R., 2003. *Conceptualizing social change processes and social impacts*. In: Becker & Vanclay (eds), *The International handbook of social impact assessment*. Cheltenham, Edward Elgar, pp 74–91.
  146. Varming, S. & Hassing, H. ,2001. *Life cycle assessment for wind turbines*. European Wind Energy Conference and Exhibition Bella Center, Copenhagen, Denmark, 2-6 July 2001.
  147. Vargas, A. V.; Zenón, E.; Oswald, U.; Islas, J. M.; Güereca, L. P.; Manzini, F. L., 2015. *Life cycle assessment: a case study of two wind turbines used in Mexico*. Applied Thermal Engineering. **75** (2015) 1210-1216.
  148. Victor, David G., 2009. *Global warming policy after Kyoto: Rethinking engagement with developing countries*. Freeman Spogli Institute for International Studies.
-

- 
149. Wackernagel, Mathis & Rees, William, 1996. *Our ecological footprint. Reducing human impact on the earth*. The new catalyst bioregional series. No 9.
150. Waggoner, P. E. and Ausubel, J. H., 2002. *A framework for sustainability science: A renovated IPAT identity*. <[www.pnas.org/content/99/12/7860.full.pdf+html](http://www.pnas.org/content/99/12/7860.full.pdf+html)>.
151. Weidema, Bo P., 2006. *The Integration of Economic and Social Aspects in Life Cycle Impact Assessment*. Int J LCA 11 Special Issue 1 (2006) 89 – 96.
152. Wionczek, Miguel S., 1982. Reflexiones sobre las limitaciones de la política energética de México. Julio-septiembre. <<http://petroleo.colmex.mx>>
153. Wionczek, Miguel S., 1983. *Los energéticos y la seguridad internacional en los ochenta: ¿realidades o falsas percepciones?* El Colegio de México. <<http://petroleo.colmex.mx>>
154. Wionczek, Miguel S., 1987. *El futuro de los energéticos en el desarrollo económico de México*. Ponencia presentada en la XIX Reunión del Consejo Consultivo del IEPES, Querétaro, Qro. Parte II. Las perspectivas energéticas de México. 10 de agosto de 1987. <<http://petroleo.colmex.mx>>
155. Wionczek, Miguel S., 1988. *El futuro de la energía en los países del tercer mundo*. Programa de energéticos del Colegio de México. Cuaderno Núm. 118. Simposium Internacional ‘Situación actual y perspectivas de la energía en el mundo’ organizado por el Instituto mexicano del petróleo, IMP el 19 de mayo de 1988. <<http://petroleo.colmex.mx>>
156. World Wildlife Fund. (WWF), 2012. *Informe Planeta Vivo 2012*. WWF Internacional, Gland, Suiza,
157. World Wildlife Fund. (WWF), PwC, Climate Works Foundation, Iniciativa Mexicana para las Energías Renovables. (IMERE), 2013. *Plan integral para el desarrollo de las energías renovables en México 2013-2018. Propuesta de escenarios y acciones necesarias para su desarrollo*. <[http://awsassets.panda.org/downloads/130222\\_plan\\_integral\\_para\\_desarrollo\\_de\\_energias\\_renovables.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/130222_plan_integral_para_desarrollo_de_energias_renovables.pdf)>.
158. Zamora Machado, Marlene; Leyva Sánchez, Elia; Lambert Arista, Alejandro A., 2010. *Recuso eólico en Baja California*. Revista Digital Universitaria. 1 de febrero de 2010. Volumen 11 Número 02. ISSN: 1067-6079. <<http://www.revista.unam.mx/vol.11/num2/art24/int24.htm>>.

## RECURSOS ELECTRÓNICOS

159. <http://sag01.iie.org.mx/eolicosolar/Default.aspx>>.
160. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/oax/estudios/2011/200A2011E0008.pdf>
161. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/oax/estudios/2007/200A2007E0001.pdf>
162. <http://www.bancomext.com/sector/energetico>
163. <http://www.comexhidro.com/?s=proyectos&n=2&p=5>
164. <http://www.conacyt.gob.mx/>
165. [http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/antecedentes\\_y\\_fundamento](http://www.conuee.gob.mx/wb/Conuee/antecedentes_y_fundamento)
166. [http://www.enelgreenpower.com/en-GB/plants/projects/mexico/bii\\_nee\\_III/](http://www.enelgreenpower.com/en-GB/plants/projects/mexico/bii_nee_III/)
167. <http://www.energia.gob.mx/portal/Default.aspx?id=2937>
168. <http://www.energia.gob.mx/webSener/portal/Default.aspx?id=2930>
-



- 
169. <http://www.energias-renovables.com/articulo/un-aerogenerador-sin-palas-premiado-en-the-20141016>
  170. [http://www.fide.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121&Itemid=219](http://www.fide.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=219)
  171. [http://www.firco.gob.mx/componentes\\_2014/Paginas/Bioenergia\\_Sustentabilidad.aspx](http://www.firco.gob.mx/componentes_2014/Paginas/Bioenergia_Sustentabilidad.aspx)
  172. <http://www.gamesacorp.com/es/cargarAplicacionPresenciaGlobal.do?tipo=C>
  173. <http://www.gamesacorp.com/es/gamesa/historia/inicio-de-la-actividad-eolica.html>
  174. <http://www.geimexico.org/factor.html>
  175. [http://www.ieawind.org/annual\\_reports\\_PDF/2000/Mexico.pdf](http://www.ieawind.org/annual_reports_PDF/2000/Mexico.pdf)
  176. <http://www.nafin.com/portalfn/content/productos-y-servicios/programas-empresariales/proyectos-sustentables.html>
  177. [http://www.nawindpower.com/issues/NAW1302/FEAT\\_04\\_EGP\\_Invests.html](http://www.nawindpower.com/issues/NAW1302/FEAT_04_EGP_Invests.html)
  178. <http://www.puertocoatzacoalcos.com.mx/acerca-ubicacion>
  179. <http://www.sct.gob.mx/index.php?id=171>
  180. [http://www.sener.gob.mx/portal/estadisticas\\_destacadas\\_del\\_sector\\_energetico.html](http://www.sener.gob.mx/portal/estadisticas_destacadas_del_sector_energetico.html)
  181. <http://www.sener.gob.mx/portal/Mobil.aspx?id=1430>
  182. [http://www.thewindpower.net/country\\_windfarms\\_es\\_36\\_mexico.php](http://www.thewindpower.net/country_windfarms_es_36_mexico.php)
  183. <http://www.vestas.com/en/about-vestas/find-vestas.aspx>
  184. <http://www.vortexbladeless.com/home.php>
  185. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/457/estimacion3.pdf>
  186. <https://www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>
  187. <http://www.inegi.org.mx/>
  188. [http://amdee.org/Eventos/Simposio\\_CFE\\_3-11-2011/Conferencia7.pdf](http://amdee.org/Eventos/Simposio_CFE_3-11-2011/Conferencia7.pdf)
  189. <http://amdee.org/Proyectos/ProyectosEolicosenMexico2012dic.pdf>
  190. <http://www.evwind.com/2014/12/10/arbol-de-viento-un-aerogenerador-para-producir-energia-eolica/>

---

---

# *ANEXOS*

---

## I. GLOSARIO

**Aerogenerador/turbina eólica:** Sistema que transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica.

**Análisis de Ciclo de Vida:** Marco metodológico para estimar y analizar los impactos ambientales atribuibles al Ciclo de Vida de un producto, como el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono estratosférico, la generación del ozono troposférico, la eutrofización, acidificación, el daño en la salud humana y los ecosistemas, la destrucción de recursos, uso del agua, uso de suelo, el ruido, principalmente.

**Cadena de valor:** El Sistema Eléctrico Nacional está integrado por la fase de generación, transformación y transmisión en alta tensión, Distribución en media y baja tensión, y por las ventas a usuarios finales que incluye procesos de medición y facturación.

**Cambio climático:** Variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un período prolongado (normalmente decenios o incluso más). Se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), en su Artículo 1, define ‘cambio climático’ como: ‘un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables’. La CMCC distingue entre ‘cambio climático’ atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y ‘variabilidad climática’ atribuida a causas naturales.

**Capacidad bruta:** La efectiva de una unidad, central generadora o sistema de generación. Incluye la potencia requerida para usos propios.

**Capacidad disponible:** Igual a la efectiva del sistema menos la capacidad indisponible por mantenimiento, falla, degradación y/o causas ajenas.

**Capacidad efectiva:** La potencia de la unidad determinada por las condiciones ambientales y el estado físico de las instalaciones. Corresponde a la capacidad de placa corregida por efecto de degradaciones permanentes, debidas al deterioro o desgaste de los equipos que forman parte de la unidad.

**Capacidad existente:** La correspondiente a los recursos disponibles en el sistema eléctrico (centrales de generación y compras de capacidad firme) en una fecha determinada.

**Capacidad neta:** Igual a la bruta de una unidad, central generadora o sistema eléctrico, menos la necesaria para usos propios.

**Capacidad:** Potencia máxima de una unidad generadora, una central de generación o un dispositivo eléctrico, especificada por el fabricante o por el usuario, dependiendo del estado de los equipos.

**Carga:** La potencia requerida por dispositivos que consumen electricidad y se mide en unidades de potencia eléctrica (kW, MW).

**Costo nivelado (de energía):** Representa un costo constante por unidad de generación, que se calcula para comparar el costo de generación de diferentes tecnologías. Se calcula mediante la creación de un modelo específico de financiamiento de proyecto para cada situación. Dicho modelo se utiliza para calcular el precio de energía necesario para obtener un determinado retorno sobre el capital invertido. Es el precio de energía en US\$/MWh en el primer año de un proyecto que, al verse incrementado por la inflación a lo largo de la duración del proyecto, proporciona una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 10 por ciento. Llega a ser representativo de un proceso competitivo de licitación de contratos de energía real.

**Emisiones:** En el contexto de cambio climático, se entiende por emisiones la liberación de gases de efecto invernadero y/o sus precursores y aerosoles en la atmósfera, en una zona y un período de tiempo específicos.

---

**Factor de emisión:** En el contexto de cambio climático, se entiende por emisiones la liberación de gases de efecto invernadero y/o sus precursores y aerosoles en la atmósfera, en una zona y un período de tiempo específicos.

**Factor de planta:** La relación entre la energía eléctrica producida por un generador o conjunto de generadores, durante un intervalo de tiempo determinado, y la energía que habría sido producida si este generador o conjunto de generadores hubiese funcionado durante el mismo intervalo a su potencia máxima posible. Se expresa en porcentaje.

**Generación bruta:** La energía de las unidades o centrales eléctricas medida a la salida de los generadores. Incluye el consumo en usos propios de la central.

**Generación neta:** La energía eléctrica que una central generadora entrega a la red de transmisión. Es igual a la generación bruta menos la energía utilizada en los usos propios de la central.

**Huella ecológica:** La huella ecológica de un individuo, de un país o la mundial es la suma de las hectáreas globales (hectárea con la capacidad biológica para producir recursos y absorber desechos sin importar el país donde se encuentre o si está ocupada por desiertos, selvas o hielos perpetuos) de todas estas superficies. Está integrada por la huella de la absorción del carbono, la huella de las tierras de pastoreo, la huella forestal, la huella de las zonas pesqueras, la huella de los cultivos y la huella de la tierra urbanizada.

**Margen de reserva:** Excedente de capacidad disponible sobre la demanda máxima y está compuesta por: la reserva de generación, demanda interrumpible y la capacidad en interconexiones.

**Política pública:** Es la acción tomada por el gobierno (Estado) para hacer frente a un asunto público determinado. Todas las tareas de las organizaciones gubernamentales locales, estatales, federales e internacionales, así como la implementación de políticas públicas para proteger y beneficiar a sus poblaciones. (<http://ips.jhu.edu/pub/public-policy>).

**Potencial posible de generación eléctrica:** es el potencial teórico de capacidad instalable y generación eléctrica de acuerdo a estudios indirectos, utilizando supuestos, sin estudios de campo que permitan comprobar su factibilidad técnica y económica. Por ejemplo, el potencial posible de generación solar anual se calcula suponiendo el uso del 1.5% del territorio nacional y una eficiencia energética del 10%.

**Potencial probable de generación eléctrica:** es aquel para el cual ya se cuentan con estudios directos e indirectos de campo, pero no los suficientes para comprobar su factibilidad técnica y económica.

**Potencial probado de generación eléctrica:** es aquel para el cual se cuenta con estudios técnicos y económicos que comprueban la factibilidad del aprovechamiento.

**Productor independiente de energía, PIE:** Titular de un permiso para generar energía eléctrica destinada exclusivamente para su venta a CFE.

**Resiliencia:** Capacidad de un sistema social o ecológico de absorber una alteración sin perder ni su estructura básica o sus modos de funcionamiento, ni su capacidad de autoorganización, ni su capacidad de adaptación al estrés y al cambio.

**Shale gas:** Gas de lutitas.

**Temporada abierta:** Procedimiento acotado en el tiempo por el que se programará de manera concertada la ampliación o modificación de la infraestructura de transmisión del SEN, con el fin de reservar capacidad en la misma.

---

## II. ACRÓNIMOS

**ACV:** Análisis de Ciclo de Vida

**Al:** aluminio

**AMDEE:** Asociación mexicana de energía eólica

**ANES:** Asociación nacional de energía solar

**BC:** Baja California

**C<sub>2</sub>H<sub>4eq</sub>:** Etileno equivalente

**CAG:** Cambio ambiental global

**CC:** Ciclo combinado

**CEPAL:** Comisión Económica para América Latina y el Caribe

**CERTE:** Centro Regional de Tecnología Eólica

**CFC-11<sub>eq</sub>:** Triclorofluorometano equivalente

**CFE:** Comisión federal de electricidad

**CICC:** Comisión Intersecretarial de Cambio Climático

**CMDS:** Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible

**CML:** Centre of Environmental Science

**CO<sub>2</sub>:** Bióxido de carbono

**CO<sub>2eq</sub>:** Bióxido de carbono equivalente

**CONAE:** Comisión nacional para el ahorro de energía, ahora CONUUE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía)

**CRE:** Comisión Reguladora de Energía

**Cu:** Cobre

**D. F.:** Distrito Federal

**DOF:** Diario Oficial de la Federación

**EEG:** Renewable nergy Sources Act, Ley de Energías Renovables

**EEUU/USA:** Estados Unidos de Norteamérica

**EO:** Eólica

**EPA:** Environmental protection agency

**EWEA:** The European Wind energy association

**GEI:** Gases de efecto invernadero

**GFRP:** Glass fibre reinforced plastic

**GTZ:** Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Agencia Alemana de Cooperación Técnica en México)

**GW:** Giga watt

---

**GWh:** Giga watt-hora

**IAEA:** International Atomic Energy Agency

**IEA:** International Energy Agency

**IEC:** Comisión Electrotécnica Internacional, por sus siglas en inglés

**IIE:** Instituto de Investigaciones Eléctricas

**IILSEN:** Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República

**IMCO:** Instituto Mexicano para la Competitividad

**INE:** Instituto nacional de ecología

**INEGI:** Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática

**IPCC:** Intergovernmental Panel on Climate Change

**ISO:** International Organization for Standardization

**K<sub>h</sub>:** Capital humano, referido a los conocimientos humanos y la capacidad intelectual.

**K<sub>n</sub>:** Capital natural, stock de la naturaleza que proporciona bienes y servicios útiles para el presente y el futuro (sistemas que sostienen la vida, biodiversidad, bosques, funcionalidad como fuentes y sumideros). **K<sub>m</sub>:** Capital artificial o manufacturado, realizado por el hombre mediante medios de producción económica (edificios, bienes de equipo, carreteras, etc.)

**K<sub>T</sub>:** Capital total constante

**kW:** kilowatt

**kWh:** kilowatt-hora

**LADF:** Ley Ambiental del Distrito Federal

**LAERFTE:** Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética

**LCA:** Life Cycle Assessment

**LCI:** Life Cycle Inventory, por sus siglas en inglés

**LCIA:** Life Cycle Impact Assessment, por sus siglas en inglés

**LCM:** Gestión del Ciclo de Vida

**LCOE:** Levelised costs of energy. Costos normalizados, por sus siglas en inglés

**LGCC:** Ley General de Cambio Climático

**LGEEPA:** Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente

**MDL:** Mecanismo de Desarrollo Limpio

**MRI:** Midwest Research Institute

**MtCO<sub>2eq</sub>:** Mega toneladas de bióxido de carbono equivalente

**MW:** Megawatt

**MWh:** Mega Watt-hora

**NOM:** Normas Oficiales Mexicanas

**O<sub>3</sub>:** Ozono

---

- 
- OECD:** Organization for Economic Co-Operation and Development,  
**ORI:** Oriente  
**PA:** Potencial de acidificación  
**PAA:** Potencial de agotamiento abiótico  
**PAEF:** Potencial de ecotoxicidad del agua fresca  
**PAO:** Potencial de agotamiento de la capa de ozono  
**PCG:** Potencial de calentamiento global  
**PE:** Potencial de eutrofización  
**PECC:** Programa especial de cambio climático  
**PEM:** Potencial de ecotoxicidad marina  
**PERGE:** Programa de energías renovables a gran escala  
**PET:** Potencial de ecotoxicidad terrestre  
**PFFO:** Potencial de formación fotoquímica de ozono  
**PIB:** Producto Interno Bruto  
**PIE:** Productores independientes de energía  
**PNUMA:** Programa de las naciones unidas para el medio ambiente medio ambiente  
**PO<sub>4</sub><sup>-</sup>:** Fosfato equivalente  
**POISE:** Programa de obras e inversión del sector eléctrico  
**PTH:** Potencial de toxicidad humana  
**PyMES:** Pequeñas y medianas empresas  
**REIA:** Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de evaluación del impacto ambiental  
**REN21:** Renewable energy policy network for the 21st Century  
**REPA:** Análisis del Perfil Ambiental y de los Recursos  
**RIAR:** Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo.  
**RLADF:** Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal  
**Sb<sub>eq</sub>:** Antimonio equivalente  
**SE:** Secretaría de Economía  
**Semarnat:** Secretaría del medio ambiente  
**SEN:** Sistema Eléctrico Nacional  
**SENER:** Secretaría de energía  
**SER:** Secretaría de Relaciones Exteriores  
**SETAC:** Society of Environmental Toxicology and Chemistry  
**SHCP:** Secretaría de Hacienda y Crédito Público  
**SIE-SENER:** Sistema de información estadística de la SENER
-

**SO<sub>2eq</sub>**: Bióxido de azufre equivalente

**t**: Tonelada(s)

**TA**: Temporada Abierta

**TPCA**: Tasa promedio de crecimiento anual

**UE**: Unión europea

**UNEP/PNUMA**: United Nations Environment Programme

**UNESCO**: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

**USD/MWh**: Dólar por megawatt-hora

**WWF**: World Wildlife Fund for Nature; Fondo Mundial para la Naturaleza

**Zn**: Zinc

**\$/kWh**: Pesos por kilowatt-hora

**¢USD/kWh**: Centavos de dólar por kilowatt –hora

**1,4-DB<sub>eq</sub>**: 1, 4-diclorobenceno equivalente



### III. CLASIFICACIÓN DEL VIENTO

La clasificación del viento se realiza a través de una escala que va del 1 al 7; siendo el rango más deseable de ser utilizado en los proyectos comerciales el que va de 4 a 7 [CFE, 2013c]. En la Tabla 25 se presenta dicha clasificación.

**Tabla 25:** Clasificación del viento según la altura.

Clase de potencia del viento	10 metros		30 metros		50 metros	
	Densidad de potencia [W/m <sup>2</sup> ]	Velocidad media [m/s]	Densidad de potencia [W/m <sup>2</sup> ]	Velocidad media [m/s]	Densidad de potencia [W/m <sup>2</sup> ]	Velocidad media [m/s]
1	0 - 100	0.0 - 4.4	0 - 160	0 - 5.1	0 - 200	0.0 - 5.6
2	100 - 150	4.4 - 5.1	160 - 240	5.1 - 5.9	200 - 300	5.6 - 6.4
3	150 - 200	5.1 - 5.6	240 - 320	5.9 - 6.5	300 - 400	6.4 - 7.0
4	200 - 250	5.6 - 6.0	320 - 400	6.5 - 7.0	400 - 500	7.0 - 7.5
5	250 - 300	6.0 - 6.4	400 - 480	7.0 - 7.4	500 - 600	7.5 - 8.0
6	300 - 400	6.4 - 7.0	480 - 640	7.4 - 8.2	600 - 800	8.0 - 8.8
7	400 - 1,000	7.0 - 9.4	640 - 1,600	8.2 - 11.0	800 - 2,000	8.8 - 11.9

**Fuente:** CFE, 2013c.

Existen también cuatro categorías de clasificación de la velocidad del viento que es necesaria para que un aerogenerador inicie operaciones, éstas son [CFE, 2013c]:

1. Velocidad de inicio: Velocidad a la que empieza a girar el rotor.
2. Velocidad de corte inferior: La velocidad mínima a la que la turbina empieza a generar energía.
3. Velocidad nominal: Velocidad a la que la turbina genera la potencia para la que está diseñada.
4. Velocidad de corte superior: Cuando la turbina deja de funcionar para proteger el equipo.

### III.i. TIEMPO DE RETORNO VS EMISIONES EVITADAS

En la siguiente tabla se hace una comparación entre el tiempo de amortización y las emisiones según la tecnología, realizada en Alemania. En este caso, la tecnología fotovoltaica está basada en la irradiación solar media de Alemania. Las emisiones de metano como CO<sub>2</sub> equivalente se muestran en la última columna.

**Tabla 26:** Comparación del tiempo de retorno y las emisiones de varias tecnologías de generación de energía.

Tecnología	Tiempo de retorno (meses)	SO <sub>2</sub> [kg/GWh]	NO <sub>x</sub> [kg/GWh]	CO <sub>2</sub> [t/GWh]	CO <sub>2</sub> , CO <sub>2eq</sub> para CH <sub>4</sub> [t/GWh]
Carboeléctrica	1.0-1.1	630-1,370	630-1,560	830-920	1,240
Nuclear	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	28-54
Térmica convencional	0.4	45-140	650-810	370-420	450
Grandes hidros	5-6	18-21	34-40	7-8	5
Microhidro	9-11	38-46	71-86	16-20	N. A.
Pequeña hidro	8-9	24-29	46-56	10-12	2
Turbina eólica:					
4.5 m/s	6-20	18-32	26-43	19-34	N. A.
5.5 m/s	4-13	13-20	18-27	13-22	N. A.
6.5 m/s	2-8	10-16	14-22	10-17	11
Fotovoltaica:					
Monocristalina	72-93	230-295	270-340	200-260	N. A.
Multicristalina	58-74	260-330	250-310	190-250	228
Amorfa	51-66	135-175	160-200	170-220	N. A.
Geotérmica	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	50-70
Oceánica	N. A.	N. A.	N. A.	N. A.	2

**Fuente:** Ackermann y Söder, 2002.

N. A. = no se considera en estudios relevantes.

---

## IV. NORMAS TÉCNICAS INTERNACIONALES DE DISEÑO DE AEROGENERADORES

Los procesos de diseño y fabricación se han adaptado a estándares internacionales de calidad. En el marco de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC, por sus siglas en inglés); el comité técnico (Technical Committee No. 88) crea normas para diseño, construcción, instalación, pruebas y operación de aerogeneradores, ha emitido las siguientes normas [IEC, 2011]:

- IEC 61400-1 (2005-08) Parte 1: Requisitos de diseño.
- IEC 61400-2 (2006-03) Parte 2: Requisitos de diseño para turbinas eólicas pequeñas.
- IEC 61400-11 (2006-11) Parte 11: Técnicas para cuantificar ruido acústico.
- IEC 61400-12-1 (2005-12) Parte 12: Pruebas de desempeño de turbinas eólicas.
- IEC/TS 61400-13 (2001-06) Parte 13: Cuantificación de cargas mecánicas.
- IEC/TS 61400-14 (2005-03) Parte 14: Declaratoria del nivel aparente de potencia sonora y valores de tonalidad.
- IEC 61400-21 (2001-12) Parte 21: Medición y evaluación de las características de la calidad de la energía de las turbinas eólicas suministrada a la red.
- IEC/TS 61400-23 (2001-04) Parte 23: Pruebas a gran escala de las estructuras de las aspas del rotor.
- IEC/TR 61400-24 (2002-07) Parte 24: Protección contra rayos.
- IEC 61400-25-1 (2006-12) Parte 25: Comunicaciones para monitoreo y control de las plantas de energía eólica. – Descripción general de los principios y modelos.
- IEC 61400-25-2 (2006-12) Parte 25: Comunicaciones para monitoreo y control de las plantas de energía eólica. – Modelos informativos.
- IEC 61400-25-3 (2006-12) Parte 25: Comunicaciones para monitoreo y control de las plantas de energía eólica. – Modelos de intercambio de información.
- IEC 61400-25-5 (2006-12) Parte 25: Comunicaciones para monitoreo y control de las plantas de energía eólica, - Pruebas de conformidad.
- IEC WT 01 (2001-04) IEC Sistemas para pruebas de conformidad y certificación de turbinas eólicas. - Normas y procedimientos.

El desarrollo de métodos y procedimientos de certificación de aerogeneradores, van desde la revisión del diseño (revisión del diseño estructural, la filosofía de seguridad, sistemas de protección, respuesta en potencia y emisión de ruido acústico) hasta los procesos de manufactura y los aspectos de instalación, operación y mantenimiento [Borja Díaz, et al., 1998].

---



---

## V. EMISIONES CONTAMINANTES SEGÚN TECNOLOGÍA

**Tabla 27:** Emisiones contaminantes por tipo de combustible.

Combustible	Combustible kg/MWh			
	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	Partículas
<b>Combustóleo</b>	822.40	2.99	1.26	
<b>Carbón</b>	1,082.98	4.52	1.30	1.01
<b>Gas natural</b>	524.44	0.18	0.63	
<b>Hidroeléctrica</b>	15.00			
<b>Nuclear*</b>	65.00			
<b>Solar fotovoltaica*</b>	106.00			
<b>Eólica*</b>	21.00			
<b>Biomasa</b>	1,403.75	4.22	3.31	

\*Considera la contaminación debida a la fabricación del combustible y equipos.

**Fuente:** CFE, 2013c.

## VI. GENERACIÓN EÓLICA DE ELECTRICIDAD

### VI.i. INVENTARIO NACIONAL DE PARQUES EÓLICOS

Con base en los datos e imágenes de The wind power y la AMDEE se presenta la siguiente información referente a la ubicación de los principales eólicos (Figura 17), así como de sus características de mayor interés (Tabla 28).



**Fuente:** Elaboración propia, con datos thewindpower.net, 2014; amdee.org; sobre mapa tomado de inegi.org.mx.

**Figura 17.** Ubicación geográfica de los principales campos eólicos nacionales de generación de electricidad.

## VI.ii. CAMPOS EÓLICOS EN MÉXICO, EN OPERACIÓN Y PROSPECTIVAS

**Tabla 28:** Generalidades de los campos eólicos nacionales existentes y en construcción en el primer semestre de 2014.

	Parque eólico	Ubicación	Potencia nominal total	Producción anual estimada (GWh)	# turbinas	Tipo de turbinas	Inicio de operación	Desarrollador/ Propietario
1	Arriaga	Chiapas	29 MW	72	16	Vestas V90/1800 (Potencia 1,800 kW, $\phi=90$ m)	Junio 2012	Grupo Salinas
2	Bii Nee Stipa I	El Espinal, Istmo de Tehuantepec, Oaxaca	26 MW	65	31	Gamesa G52/850 (Potencia 850 kW, $\phi=52$ m)	Abril 2010	Iberdrola Renewables
3	Bii Nee Stipa II	El Retiro, Oaxaca	74 MW	185	37	Gamesa G80/2000 (Potencia 2,000 kW, $\phi=80$ m)	Junio 2012	Gamesa/Enel GreenPower
4	Bii Nee Stipa III	Dos Arbolitos, Oaxaca	70 MW	175	35	Gamesa G80/2000 (Potencia 2,000 kW, $\phi=80$ m)	2012 Enero 2013*	Gamesa/ENEL
5	Bii Nee Stipa IV	Dos Arbolitos, Oaxaca	74 MW	185	37	Gamesa G90/2000 (Potencia 2,000 kW, $\phi=90$ m)	Operativo	Iberdrola Renewables
6	Cancún	Quintana Roo	2 MW	3	1	Acciona AW-70/1500 Potencia 1,500 kW, $\phi=70$ m	Noviembre 2010	Acciona Energia CFE
7	Cementos Apasco	Ramos Arispe, Coahuila	1 MW	1	1	Zond Systems Z-40 Potencia 550 kW, $\phi=40$ m	1997	Zond Cementos Apasco
8	Dominica I	Charcas, San Luis Potosí	100 MW	250	50	ND (Potencia 2,000 kW, $\phi=ND$ )	En construcción	Enel GreenPower
9	El Porvenir	Tamaulipas	54 MW	135	30	Vestas V100/1800 (Potencia 1,800 kW, $\phi=100$ m)	Noviembre 2013	Compañía Eólica de Tamaulipas Grupo Ecos
10	Eurus I	Juchitan de Zaragoza, Oaxaca,	38 MW	93	25	Acciona AW70/1500 IEC Ia (Potencia 1,500 kW, $\phi=70$ m)	Enero 2009	Acciona Energia Acciona Energia
11	Eurus II	Istmo de Tehuantepec	213 MW	532	142	Acciona AW70/1500 IEC Ia (Potencia 1,500 kW, $\phi=70$ m)	Mayo 2010	
12	Fuerza Eólica del Istmo I	Oaxaca	50 MW	125	20	Clipper Liberty C93 (Potencia 2,500 kW, $\phi=93$ m)	2012	Peñoles
13	Fuerza Eólica del Istmo II		30 MW	75	12	Clipper Liberty C89 (Potencia 2,500 kW, $\phi=89$ m)	2012 Octubre 2011*	
14	Guerrero Negro	Baja California	1 MW	1	1	Gamesa G42-600 (Potencia 600 kW, $\phi=42$ m)	1998 Abril 1982*	Gamesa Eólica Compañía Exportadora de Sal

	Parque eólico	Ubicación	Potencia nominal total	Producción anual estimada (GWh)	# turbinas	Tipo de turbinas	Inicio de operación	Desarrollador/ Propietario
15	La Mata-La Ventosa	La Mata, La Ventosa, Istmo de Tehuantepec	68 MW	168	27	Clipper Liberty C89 (Potencia 2,500 kW, $\phi=89$ m)	Mayo 2010	EDF-EN EDF-EN
16	La Rumorosa I	Tecate, Ejido Gustavo Aubanel Vallejo, La Rumorosa, Sierra de Juarez	10 MW	25	5	Gamesa G87/2000 (Potencia 850 kW, $\phi=52$ m)	Marzo 2010	Gobierno BC Turbo Power Baja Energy/Comisión Estatal de Energía de Baja California
17	La Venta I	Juchitan de Zaragoza, Oaxaca, Istmo de Tehuantepec	2 MW	3	7	Vestas V27/225 (Potencia 225 kW, $\phi=27$ m)	Noviembre 1994	CFE CFE
18	La Venta II		83 MW	208	98	Gamesa G52/850 (Potencia 850 kW, $\phi=52$ m)	Diciembre 2006	
19	La Venta III		102 MW	255	120	Gamesa G52/850 (Potencia 850 kW, $\phi=52$ m)	2011 Agosto 2013*	CFE/Iberdrola Renewables Iberdrola Renewables
20	La Ventosa	Zaragoza de Juchitán, Oaxaca	102 MW (Parte I 79,900 kW)	254	(Parte 1) 94	Gamesa G52/850 (Potencia 850 kW, $\phi=52$ m)	2009	Iberdrola Renewables Iberdrola Renewables
			(Parte II 22,000 kW)		(Parte 2) 11	Gamesa G80/2000 (Potencia 2,000 kW, $\phi=80$ m)	2013	
21	Los Altos	Ojuelos, Jalisco	50 MW	126	28	Vestas V100/1800 (Potencia 1,800kW, $\phi=100$ m)	2014	Grupo Dragón
22	Los Vergeles	San Fernando, Tamaulipas	161 MW	402	70	Siemens SWT-2.3-93 (Potencia 2,300 kW, $\phi=93$ m)	ND	ND
23	Oaxaca I	Oaxaca	101 MW	252	51	Vestas V80-2.0 MW (Potencia 2,000 kW, $\phi=80$ m)	2012	CFE/EYRA
24	Oaxaca II	Oaxaca	102 MW	255	68	Acciona AW70/1.5 MW (Potencia 1,500 kW, $\phi=70$ m)	Febrero 2012	CFE/Acciona Energia Acciona Energia
25	Oaxaca III	Oaxaca	102 MW	255	68	Acciona AW70/1.5 MW (Potencia 1,500 kW, $\phi=70$ m)	Enero 2012	CFE/Acciona Energia Acciona Energia

	Parque eólico	Ubicación	Potencia nominal total	Producción anual estimada (GWh)	# turbinas	Tipo de turbinas	Inicio de operación	Desarrollador/ Propietario
26	Oaxaca IV	Oaxaca	102 MW	255	68	Acciona AW70/1.5 MW (Potencia 1,500 kW, $\phi=70$ m)	2012 Diciembre 2011*	CFE/Acciona Energía Acciona Energía
27	Pacífico/ Eoliatic del Pacífico	Oaxaca	160 MW	400	80	Gamesa G90/2000 (Potencia 2,000 kW, $\phi=90$ m)	En operación	EDF-EN EDF-EN
28	Parques Ecológicos de México	Juchitan de Zaragoza, Oaxaca, Istmo de Tehuantepec	80 MW	199	94	Gamesa G52/850 (Potencia 850 kW, $\phi=52$ m)	Enero 2009	Iberdrola Renewables Iberdrola Renewables
29	Piedra Larga	Oaxaca	228 MW (Parte I 90,000 kW)	841,75 (Parte II 510)	114	Gamesa G80-2MW (Potencia 2,000 kW, $\phi=80$ m)	2012	Renovalia Renovalia
			(Parte II 137,500 kW)		69	Gamesa G80-2MW (Potencia 2,000 kW, $\phi=80$ m)	En construcción	Renovalia Renovalia
30	Santa Catarina	Santa Catarina, Nuevo León.	22 MW	55	8	GE Energy 2.75-103 (Potencia 2,750 kW, $\phi=103$ m)	Junio 2012	GRUPO COMEXHIDRO
31	Somolinos (MX)	Somolinos, Guadalajara	11 MW	26	16	Gamesa G47/660 (Potencia 660 kW, $\phi=47$ m)	2006	Iberdrola Renewables
32	Sureste I fase II	Asunción Ixtaltepec, Oaxaca	102 MW	255	34	Alstom Power 110 (Potencia 3,000 kW, $\phi=109.8$ m)	En construcción	Enel GreenPower

\*Fecha de inicio de operación según Prospectiva de Energías Renovables 2013-2027.

**Fuente:** SENER, 2015; The wind power, 2014; www.nawindpower.com, 2014; www.enelgreenpower.com, 2014; IIE, 2014; www.ieawind.org, 2014; SENER, 2013d; AMDEE, 2014; sinat.semarnat, 2007; gamesacorp.com, 2014; comexhidro.com, 2014.



### VI.iii. EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD BRUTA DE PROYECTOS EÓLICOS 2013-2028

**Tabla 29:** Evolución de la capacidad bruta de proyectos eólicos 2013-2028 (período 2013 al 2020), MW.

Permisionario	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Eoliatec del Istmo (1a Etapa)	22	22	22	22	22	22	22	22
<b>Sub Total Eólicos Red Existente</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
Eoliatec Zopiloapan	70	70	70	70	70	70	70	70
Eoliatec del Pacífico (1a Etapa)	80	80	80	80	80	80	80	80
Eólica El Retiro, S. A. P. I. de C. V. Gamesa Energía (3a Etapa)	74	74	74	74	74	74	74	74
Desarrollos Eólicos Mexicanos de Oaxaca 2		138	138	138	138	138	138	138
Fuerza y Energía BII HIOXO (Unión Fenosa)		228	228	228	228	228	228	228
Energía Alterna Istmeña (Preneal)		216	216	216	216	216	216	216
Energía Eólica Mareña (Preneal)		180	180	180	180	180	180	180
Eoliatec del Pacífico (2a Etapa)		80	80	80	80	80	80	80
Gamesa Energía (4a Etapa)		70	70	70	70	70	70	70
<b>Sub Total Eólicos Temporada Abierta</b>	<b>224</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>
Eólica Santa Catarina (COMEXHIDRO)	22	22	22	22	22	22	22	22
PE SEDENA 1ª etapa	15	15	15	15	15	15	15	15
Eólica Los Altos, S. A. P. I. de C. V.	50	50	50	50	50	50	50	50
Parques Ecológicos de México, S. A. de C. V. 2ª etapa		20	20	20	20	20	20	20
Compañía Eólica de Tamaulipas		54	54	54	54	54	54	54
PE Ingenio, S. de R. L. de C. V.		50	50	50	50	50	50	50
Ventika, S. A. de C. V.		126	126	126	126	126	126	126
Ventika II, S. A. de C. V.		126	126	126	126	126	126	126
MPG Rumorosa, S. A. P. I. de C. V.		72	72	72	72	72	72	72
Generadores Eólicos de México, S. A. de C. V.		10	10	10	10	10	10	10
Dominica Energía Limpia, S. de R. L. de C. V. 1ª fase		100	100	100	100	100	100	100
Dominica Energía Limpia, S. de R. L. de C. V. 2ª fase			100	100	100	100	100	100
PE SEDENA 2ª etapa			15	15	15	15	15	15
<b>Sub Total Permisionarios</b>	<b>87</b>	<b>645</b>	<b>760</b>	<b>760</b>	<b>760</b>	<b>760</b>	<b>760</b>	<b>760</b>
Segunda Temporada Abierta en Oaxaca					1,130	1,130	1,130	1,130
Temporada Abierta en Tamaulipas					1,667	1,667	1,667	1,667
Temporada Abierta en Baja California					886	886	886	886
<b>Sub Total Nuevas Temporadas Abiertas</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3,683</b>	<b>3,683</b>	<b>3,683</b>	<b>3,683</b>
Eólica							100	200
<b>Sub Total Auto Renovable Remoto</b>							100	200
<b>Total</b>	<b>333</b>	<b>1,803</b>	<b>1,918</b>	<b>1,918</b>	<b>5,601</b>	<b>5,601</b>	<b>5,701</b>	<b>5,801</b>

**Fuente:** Elaboración propia con datos del POISE, 2014-2028, CRE, 2014.

**Tabla 30:** Evolución de la capacidad bruta de proyectos eólicos 2013-2028 (período 2021 al 2028).

Permisionario	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Eoliatec del Istmo (1a Etapa)	22	22	22	22	22	22	22	22
<b>Sub Total Eólicos Red Existente</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
Eoliatec Zopiloapan	70	70	70	70	70	70	70	70
Eoliatec del Pacífico (1a Etapa)	80	80	80	80	80	80	80	80
Eólica El Retiro, S. A. P. I. de C. V.; Gamesa Energía (3a Etapa)	74	74	74	74	74	74	74	74
Desarrollos Eólicos Mexicanos de Oaxaca 2	138	138	138	138	138	138	138	138
Fuerza y Energía BII HIOXO (Unión Fenosa)	228	228	228	228	228	228	228	228
Energía Alterna Istmeña (Preneal)	216	216	216	216	216	216	216	216
Energía Eólica Mareña (Preneal)	180	180	180	180	180	180	180	180
Eoliatec del Pacífico (2a Etapa)	80	80	80	80	80	80	80	80
Gamesa Energía (4a Etapa)	70	70	70	70	70	70	70	70
<b>Sub Total Eólicos Temporada Abierta</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>	<b>1,136</b>
Eólica Santa Catarina (COMEXHIDRO)	22	22	22	22	22	22	22	22
PE SEDENA 2ª etapa	15	15	15	15	15	15	15	15
Eólica Los Altos, S. A. P. I. de C. V.	50	50	50	50	50	50	50	50
Parques Ecológicos de México, S. A. de C. V. 2ª etapa	20	20	20	20	20	20	20	20
Compañía Eólica de Tamaulipas	54	54	54	54	54	54	54	54
PE Ingenio, S. de R. L. de C. V.	50	50	50	50	50	50	50	50
Ventika, S. A. de C. V.	126	126	126	126	126	126	126	126
Ventika II, S. A. de C. V.	126	126	126	126	126	126	126	126
MPG Rumorosa, S. A. P. I. de C. V.	72	72	72	72	72	72	72	72
Generadores Eólicos de México, S. A. de C. V.	10	10	10	10	10	10	10	10
Dominica Energía Limpia, S. de R. L. de C. V. 1ª fase	100	100	100	100	100	100	100	100
Dominica Energía Limpia, S. de R. L. de C. V. 2ª fase	100	100	100	100	100	100	100	100
PE SEDENA 2ª etapa	15	15	15	15	15	15	15	15
<b>Sub Total permisionarios</b>	<b>760</b>	<b>760</b>	<b>760</b>	<b>760</b>	<b>760</b>	<b>760</b>	<b>760</b>	<b>760</b>
Segunda Temporada Abierta en Oaxaca	1,130	1,130	1,130	1,130	1,130	1,130	1,130	1,130
Temporada Abierta en Tamaulipas	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667	1,667
Temporada Abierta en Baja California	886	886	886	886	886	886	886	886
<b>Sub Total Nuevas Temporadas Abiertas</b>	<b>3,683</b>	<b>3,683</b>	<b>3,683</b>	<b>3,683</b>	<b>3,683</b>	<b>3,683</b>	<b>3,683</b>	<b>3,683</b>
Eólica	300	400	600	700	800	900	1,100	1,100
<b>Sub Total Auto Renovable Remoto</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>600</b>	<b>700</b>	<b>800</b>	<b>900</b>	<b>1,100</b>	<b>1,100</b>
<b>Total</b>	<b>5,901</b>	<b>6,001</b>	<b>6,201</b>	<b>6,301</b>	<b>6,401</b>	<b>6,501</b>	<b>6,701</b>	<b>6,701</b>

**Fuente:** Elaboración propia con datos del POISE, 2014-2028, CRE, 2014.

## VII. LIFE CYCLE ASSESSMENT: A CASE STUDY OF TWO WIND TURBINES USED IN MEXICO

Applied Thermal Engineering 75 (2015) 1210–1216



Contents lists available at ScienceDirect

Applied Thermal Engineering

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/apthermeng](http://www.elsevier.com/locate/apthermeng)



### Life cycle assessment: A case study of two wind turbines used in Mexico



A.V. Vargas<sup>a</sup>, E. Zenón<sup>b</sup>, U. Oswald<sup>c</sup>, J.M. Islas<sup>b,\*</sup>, L.P. Güereca<sup>d</sup>, F.L. Manzini<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Posgrado en Ingeniería (Energía), Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco S/N, Col. Centro, 62580 Temixco, Morelos, Mexico

<sup>b</sup> Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, Priv. Xochicalco S/N, Col. Centro, 62580 Temixco, Morelos, Mexico

<sup>c</sup> Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad S/N, Circuito 2, Col. Chamilpa, Ciudad Universitaria UAEM, 62210 Cuernavaca, Morelos, Mexico

<sup>d</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Escolar S/N, Ciudad Universitaria UNAM, 04510 Coyoacán, D.F., Mexico

#### HIGHLIGHTS

- Two wind turbines were compared by LCA methodology in Mexican conditions.
- The overall assessment of the environmental impacts in all phases was achieved.
- LCA technique revealed that the nacelle and tower have most environmental impacts.
- Environmental impacts reduction in LC of turbines will enrich Mexican wind industry.

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 6 December 2013

Received in revised form

10 October 2014

Accepted 12 October 2014

Available online 22 October 2014

##### Keywords:

Life cycle assessment

Wind turbine

Environmental impacts

Greenhouse gases

#### ABSTRACT

This paper presents the case study of two wind turbines installed in Mexico which are analyzed using the life cycle assessment (LCA) methodology. Environmental impacts of different fabrication materials and electricity consumption were studied for the main turbine components. The designs of both turbines were examined through the phases of manufacture, construction, and final disposal. Both turbines (turbine A and turbine B) were of 2.0 megawatts (MW). Results ascertain that the most intensive environmental impacts come from the nacelle and tower components of both turbines; and that within life cycle phases, turbine A influences the environment less than turbine B, specifically during manufacture and final disposal. This study is valuable for decision makers in the domain of technological product design and marketing; in order to determine which features of the wind turbines can be modified to mitigate environmental impacts, contributing to technological innovation in the domains of sustainability and renewable energies in Mexico.

Published by Elsevier Ltd.

#### 1. Introduction

The current worldwide growth in the usage of alternative sources of energy is a consequence of (i) the need to increased demands for energy, (ii) the rising prices of fossil fuels, and (iii) the need to reduce emissions of greenhouse gases (GHG). Electricity sector plays a leading role in the energy industry and poses significant environmental concerns. Therefore, the environmental impacts of the electricity generation are to be relevant criteria for the planning and decision-making in Mexico, and will provide important basis for the inclusion of sustainable sources of energy such as wind power generation [1].

Throughout decades the Mexican energy policy has been oriented towards fossil fuels. At the end of 2012, total power generation in Mexico was 260,398 gigawatt-hours (GWh); it was primarily generated via technologies depending on the use of fossil fuels: 45.15% gas combined cycle, 20.71% conventional thermal, 6.81% coal-fired steam turbine plant, 6.23% dual technology, 2.39% gas turbine and nearly 0.5% from internal combustion turbines. Alternative power generation technologies included 12% hydropower, 3.37% nuclear power, 2.23% geothermal, and 0.67% wind power [1]. Fossil fuels have been identified as one of the most polluting sources of energy for electricity generation, affecting ecosystems and human health [2,3]. Worldwide the use of wind power has increased due to the growing demand for electricity, the increase in the prices of fossil fuels [4,5] and the necessity to reduce GHG.

The environmental impacts of energy sector has been recognized and analyzed by various research institutes and governmental

\* Corresponding author. Tel.: +52 55 56229791.

E-mail address: [jis@ier.unam.mx](mailto:jis@ier.unam.mx) (J.M. Islas).

agencies in Mexico [1,6–8]. A two-part policy approach has been proposed in order to mitigate pollution levels in Mexico: the first part relates to reducing GHG by 30% by 2020 and 50% by 2050 [9–12]. The second part states that 35% of electricity generation in the country by 2024 should be produced by clean sources and in a sustainable way [1,6,8–12].

In addition to these environmental benefits, wind energy contributes to job creation, promotes regional development, grants the supply of electricity locally, it attracts private investments, and save fossil fuels [13]. Mexico has an estimated wind energy potential of more than 40,000 MW considering a capacity factor of 20–25% [14]. This unleashes great interest in Mexico for wind energy and its commercialization, and it has been raised as an important issue [15]. In response to this, a research cluster from the Electrical Research Institute (IIE), the Advanced Technology Center (CIATEQ AC), the Regional Centre for Wind Energy Technology (CERT), and the Centre for Research in Advanced Materials (CIMAV) is developing a project called Mexican Wind Machine (MWM) that is oriented to commercial production [16,17].

Developing wind technology in situ presents the country with the possibility to maximize the use of the existing technological capabilities and the national industrial infrastructure [1,3,6 and 8]. However, there are no studies that consider the environmental impacts this technology could produce [13,16, and 17]. This paper presents a case study of two wind turbines used in Mexico and their environmental impacts through a life cycle analysis. Thus, it provides useful elements for the sustainable production of this technology in Mexico.

At the international level, similar studies have been conducted in Japan [18], Spain [19–21], Denmark [22–25], Australia [26], France [27], Austria [28] and United Kingdom [29]. However, this task is more difficult given the limited LCA literature available addressing commercial wind turbines and on power generation in Mexico [15,30]. In this case, unlike the other studies undertaken in Mexico and in order to go beyond research and contextual limitations whilst researching local realities within the international debates, wind technology is analyzed comparing two types of wind turbines providing important results in the field.

For this case study we selected two different brands of wind turbines (A and B) used in Mexico with a nominal capacity of 2.0 MW [31,32]. We applied the LCA methodology and analyzed the materials and electricity related to the manufacture, construction and final disposal phase according to their estimated environmental impacts. These wind turbines are the third most used (24%); the others are turbines with nominal capacity of 1.5 MW (32%) and 850 kilowatts (kW) (30%) [33,34]. Both turbines have a rotor diameter of 80 m, and an estimated lifespan of 20 years, but they differ in the amounts of materials and electricity required for the manufacture of their components, construction and dismantling phases (Table 1 and Table 2 shows these differences). The case study assumes the installed wind capacity for Mexico in 2011 (1.1% of the total capacity) [3,7].

This analysis can be applied as a guide for decision making in the commercial production of wind turbines in Mexico, and to assess the environmental impacts of different wind turbine designs according to component and life cycle phase. Additionally, the study can be considered an exercise supporting the sustainable production of wind turbines in Mexico.

## 2. Methodology

The study follows the ISO 14040–44 standards for LCA [35,36]. Throughout the analysis the environmental impacts were assessed according to the following categories [20–25,37–39]: global warming potential (GWP), ozone layer depletion potential (ODP),

**Table 1**  
Key parameters of the life cycle inventory for wind turbine A [20,21].

Component	Sub-component	Weight (tonnes)	Material (tonnes)	Energy (MWh)
Rotor	Three blades	19.5	Resin (11.7) Fiberglass (7.8)	20.15
	Blade hub	14	Cast iron (14)	12
	Nose-cone	0.310	Fiberglass (0.124) Resin (0.186)	0.95
Foundation	Footing	725	Concrete (700) Iron (25)	0.4
		15	Steel (15)	4.72
Tower	Three sections	143	Steel (143)	47.22
	Main shaft	6.1	Steel (6.1)	5.3
	Transformer	5	Silica (0.149) Copper (1.5) Steel (3.3)	55.56
Nacelle	Generator	6.5	Silica (0.195) Copper (2) Steel (4.29)	73.61
		10.5	Iron (10.5)	9
		16	Iron (8) Steel (8)	137.5
Nacelle cover	Nacelle cover	2	Fiberglass (0.8) Resin (1.2)	6.2
		Total weight	962.91	

human toxicity potential (HTP), fresh water aquatic ecotoxicity potential (FAETP), marine aquatic ecotoxicity potential (MAETP), terrestrial ecotoxicity potential (TETP) (all assessed over a 20-year period) in addition to abiotic depletion potential (ADP), photochemical ozone creation potential (POCP), acidification potential (ACP), and eutrophication potential (EP). The impacts were estimated via the CML-2001 methodology for operationalizing ISO 14040–44, proposed by the Centre of Environmental Science (all impact categories: data set V2.05/World, 1990) [40].

### 2.1. Goal

The aim of this study is to estimate the environmental impacts of different materials and electricity used in the manufacture of components of two wind turbines (A and B), by component, during their construction and final disposal phases by means of the LCA

**Table 2**  
Key parameters of the life cycle inventory for wind turbine B [22–24].

Component	Sub-component	Weight (tonnes)	Material (tonnes)	Energy (MWh)
Rotor	Three blades	24.5	GFRP (21.5) Cast Iron (3)	25.32
	Spinner	4	Cast Iron (2) GFRP (2)	3.62
Foundation	Footing	832	Reinforced concrete (805) Steel (27)	0.44
		164.20	Zinc (0.20) Steel (164)	8.59 54.22
Tower	Main Shaft	12	Cast Iron (12)	10.43
		10	Aluminum (2) Steel (6)	111.11
Nacelle	Transformer	10	Copper (2) Steel (5)	113.25
		7	Copper (5) Cast Iron (4)	6
		20	Stainless Steel (3) Stainless Steel (10) Steel (10)	171.88
Nacelle Cover	Nacelle Cover	4	GFRP (4)	12.4
		Total weight	1087.7	

**Table 3**

Activities typically included in a LCA of a wind turbine. Based on LCA Model of a wind turbine by E. Martinez et al. [21].

Phase	Activity
Manufacture	Extraction/production (mining, refining, processing and construction) of materials for the manufacture of components of wind turbine (steel, concrete, glass fiber, etc.). Manufacturing of nacelle, rotor, blades and tower.
Construction	Construction of the foundation and erection of wind turbine on site.
Final disposal	Dismantling of rotor, tower and nacelle of the wind turbine, transportation by truck to the disposal site and in some cases recycling of components

methodology. These turbines have a nominal capacity of 2.0 MW, a diameter of 80 meters (m) and the lifetime is 20 years.

## 2.2. System

A wind turbine is a technology that transforms kinetic wind energy into electricity. The main components of the wind turbine are: the rotor (it consists of hub, nose cone and 3 blades, mainly), the nacelle (it is normally integrated by the nacelle frame which covers the generator, the gearbox, transformers and the electrical and mechanical equipment), the tower (it provides the necessary height for the wind turbine to harness wind speed and supports the nacelle and rotor) and the foundation (where ground support is given to all the above mentioned components). Wind energy moves the blades located in the rotor, the blades rotate around a horizontal axis which is attached to a multiplier; this energy is then directed to an electrical generator in which electric power is obtained. The typically activities included in a LCA of a wind turbine are presented in Table 3. The system that we are going to study is shown in Fig. 1. In this case study, wind turbines A and B have a rotor with three blades. It is not considered the transport from the plant to the site of wind farm construction neither related with the final disposal. Also does not considered the operational part of the turbine.

Material inventory is based on manufacturer data (Table 1 and Table 2), as detailed above. The blades consist mainly of fiberglass and cast iron, there are significant amounts of metallic components in the nacelle (mainly iron and steel), the tower (made with steel) and the foundation (mainly reinforced concrete).

The main lifecycle phases of a wind turbine are the manufacture, (it includes extraction, mining, refining, processing, production of materials to sub-components and components manufacture) construction (of the wind turbine foundation) and the final disposal (includes dismantling of rotor, tower and nacelle, transportation by truck to the disposal site and in some cases recycling of components) [21,22,27,28,38–40] (Table 3). This analysis includes the materials (by weight) used for turbines A and B (Fig. 1), as well as the electricity required during the same phases [23,24,38–42]. It is assumed that the final disposal phase required 90% of the electricity used for manufacture [20,21].

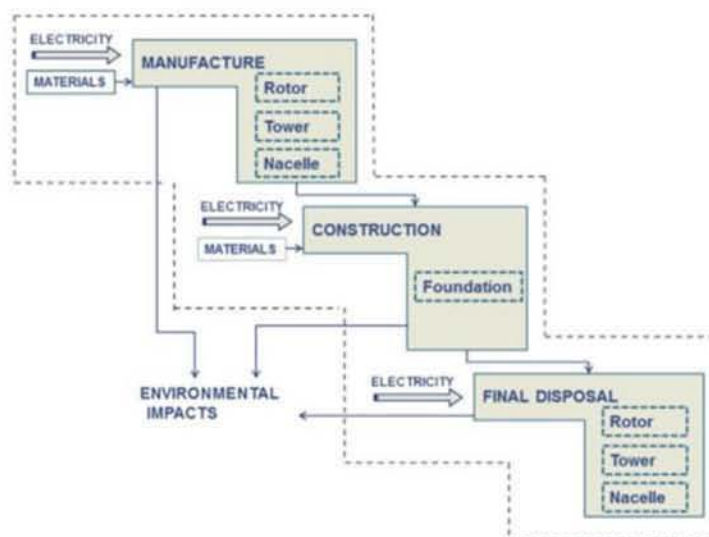
### 2.2.1. System boundary

We considered the manufacture (at this stage the following activities are considered: manufacture of rotor, tower and nacelle), construction (that considers the activity of building the wind turbine foundation and erection on site of the wind turbine), and final disposal (this stage considers the final following activities: final disposition of the components that integrate the rotor, the tower and the nacelle of the wind turbine) [25]. The life cycle boundary of the wind turbines is shown in Fig. 1. It is not considered the transportation step neither the step of operating the wind turbine, as it was mentioned before.

Within each stage of the life cycle of a wind turbine like the one shown in Fig. 1 diverse activities are included, some of which are presented in Table 3.

### 2.2.2. General assumptions

The impact categories were calculated considering the emission factors of the electricity sector reported in the Mexican literature [30], and the Ecoinvent database (v2.1). We excluded the transportation phase as it is assumed that the turbine production facility will be located near to the proposed site of construction an operation of the wind farm. Transport at the stage of final disposal.



**Fig. 1.** System under study and life cycle boundary of the 2.0 MW wind turbines (A and B). Based on the theoretical system boundary in B. Tremac and F. Meunier [27].

**Table 4**  
Materials used in the manufacture and construction of components and sub-components of wind turbines [19–24].

Material	Selected ecoinvent process
Fiberglass/resin GFRP	Glass fiber-reinforced plastic (GFRP), polyamide, injection molding, at plant-Europe (RER-U).
Iron	Cast iron, at plant-Europe (RER-U).
Steel	Reinforcing steel, at plant-Europe (RER-U).
Concrete	Concrete, exacting, at plant-Europe (RER-U).
Silica	MG-silicon, at plant-Norway (NO-U).
Copper	Copper, at regional storage-Europe (RER-U).
Aluminum	Aluminum, cast, precision sand casting-United States (US).
Stainless steel	Stainless steel hot-rolled coil, annealed & pickled, elec. arc furnace route, prod. mix, grade 304-Europe (RER System-5).
Zinc	Zinc, primary, at regional storage-Europe (RER-U).

is not considered since it is assumed that the disposal site is near the place in which the plant operates. It is not considered the operational stage of the turbine. Consequently, the electricity used in maintenance or other changes (like consumption of lubricants, replacement of damaged parts, etc.) made to the turbine during its operational lifetime are not considered. So this article will focus only to know the environmental impact of different materials and electricity involved in the manufacture of a wind turbine.

2.3. Software

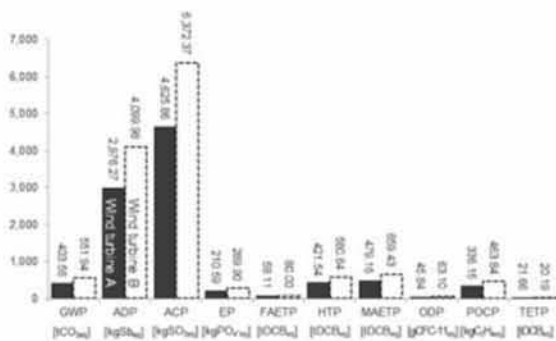
Environmental impacts were calculated using SimaPro software (version 7.2.4, Pré Consultants) and the Ecoinvent database (v2.1).

2.4. Functional unit

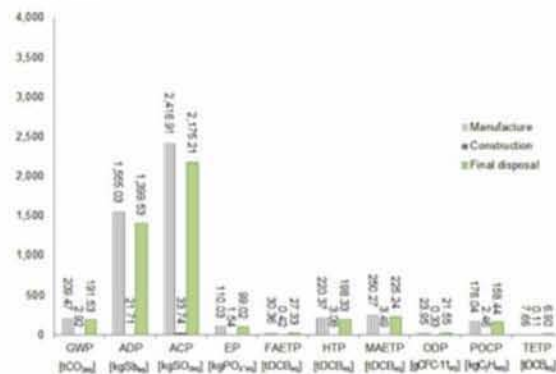
The functional unit is considered as the total electricity (in kilowatt-hour –kWh-) used in the process [26–28] design (materials in manufacture, construction, and final disposal phases) for a wind turbine of 2.0 MW capacity and 80 m diameter. This is based on the turbine design lifetime of 20 years [20–23].

3. Inventory

The life cycle inventory considered in the analysis is derived from the literature available [19–24]. The main materials used in the manufacture and construction phases are shown in Table 4.



**Fig. 2.** Life cycle environmental impacts of the wind turbine of 2.0 MW capacity (A and B). The results are for global warming potential (GWP), ozone layer depletion potential (ODP), human toxicity potential (HTP), fresh water aquatic ecotoxicity potential (FAETP), marine aquatic ecotoxicity potential (MAETP), terrestrial ecotoxicity potential (TETP), abiotic depletion potential (ADP), photochemical ozone creation potential (POCP), acidification potential (ACP), and eutrophication potential (EP).



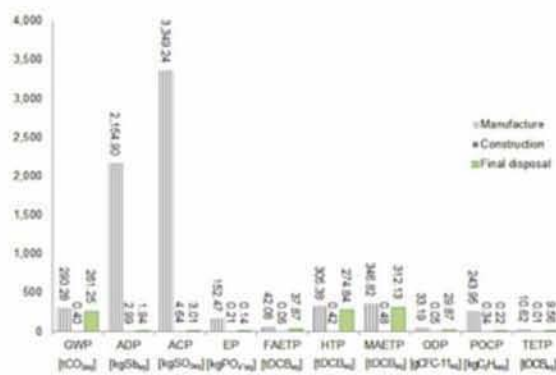
**Fig. 3.** Contribution of different life cycle phases to impacts in turbine A: manufacture, construction and final disposal.

The inventory flows associated with the process design (materials and electricity used in manufacture, construction, and final disposal phases) for turbines A and B are shown in Tables 1 and 2 respectively.

Both turbines exhibit similar inventories, but differ in the amounts of materials and electricity required to become operational.

4. Results and discussion

The life cycle environmental impacts of the wind turbine of 2.0 MW capacity and 80 m diameter are given in Fig. 2, contrasting turbine A and B. The characterization results of the impact categories studied are shown in Figs. 2–6 (it is not usual to present normalized results due to there are many possibilities of normalizing and the characterization allows comparisons more easily [43]). The results obtained in this work are comparing with international results [26–29]. Findings suggest that the wind turbine A has less environmental impacts than the wind turbine B. Figs. 3 and 4 indicate the contribution of different life cycle phases to impacts in turbines A and B. The highest cumulative impact was the manufacture phase in both turbines (52%). Construction contributes with less than 1% and the final disposal phase with approximately 47%.



**Fig. 4.** Contribution of different life cycle phases to impacts in turbine B: manufacture, construction, and final disposal.

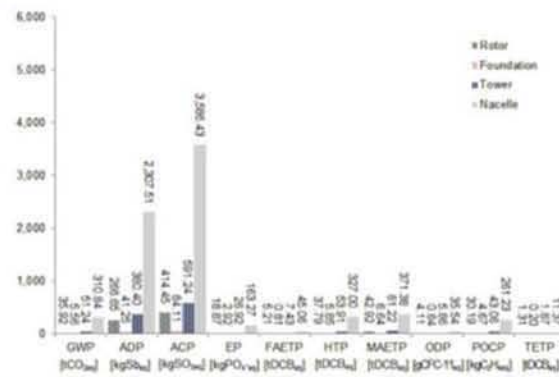


Fig. 5. Contribution of different life cycle phases to impacts in turbine A by component: rotor, foundation, tower and nacelle.

4.1. Environmental impacts

In our case study, given that the same materials are used and that the information collected shows that the wind turbine B uses a greater amount of material from each type than turbine A, turbine B consumes more energy than A. It was considered that the effect of those materials which are not common between the two turbines and that are found in small amounts, not significantly alter the results of the impact categories. Following results are a function of the amount of materials since there are not significant differences in the type of construction materials among the two wind turbines.

4.1.1. Global warming potential (GWP)

The GWP for the wind turbine A is 403.56 tons (t) of carbon dioxide equivalents (tCO<sub>2</sub> eq.) and for turbine B it is 551.94 tCO<sub>2</sub> eq. (Fig. 2). During the life cycle phases, the components with the greatest environmental impacts are the nacelle (310.84 tCO<sub>2</sub> eq. for turbine A and 461.29 tCO<sub>2</sub> eq. for turbine B) and the tower (51.24 tCO<sub>2</sub> eq. for turbine A and 58.84 tCO<sub>2</sub> eq. for turbine B), respectively (Figs. 5 and 6). In all cases, the components of wind turbine B use more materials than wind turbine A which could explain the higher values of GWP for turbine B. As we saw in Tables 1 and 2, turbine B requires a greater amount of material and energy consumption than wind turbine A, and as this indicator is a measure of how much

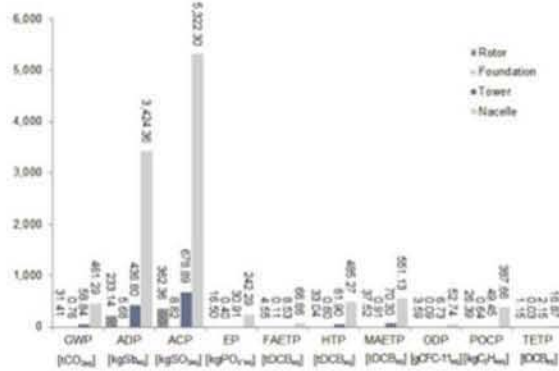


Fig. 6. Contribution of different life cycle phases to impacts in turbine B by component: rotor, foundation, tower and nacelle.

a given mass of GHG gas contributes to global warming [28], then wind turbine B has a greater impact factor than wind turbine A.

4.1.2. Ozone layer depletion potential (ODP)

ODP is estimated at 45.84 grams of chlorofluorocarbons equivalents (gCFC-11<sub>eq</sub>) for the wind turbine A and at 63.10 gCFC-11<sub>eq</sub> for the wind turbine B (Fig. 2). The emission for turbine A during manufacture and the final disposal phases are 23.95 gCFC-11<sub>eq</sub> and 21.55 gCFC-11<sub>eq</sub> respectively (Fig. 3), and for turbine B they are 33.19 gCFC-11<sub>eq</sub> and 29.87 gCFC-11<sub>eq</sub> during the same phases (Fig. 4). The ODP refers to the fraction of UV-B radiation that reaches the earth surface [19]. As can be seen, the wind turbine with a higher value of ODP in this case is the wind turbine B, which contributes to a further deterioration of the ozone layer. ODP involves the most important human health hazards due to increased exposure to ultraviolet radiation.

4.1.3. Human toxicity potential (HTP)

The estimated HTP value for wind turbine A is 421.54 t of dichlorobenzene equivalents (tDCB<sub>eq</sub>) and 580.64 tDCB<sub>eq</sub> for wind turbine B (Fig. 2). The emissions to the air during the manufacture and final disposal phases are 220.37 tDCB<sub>eq</sub> and 198.33 tDCB<sub>eq</sub> respectively for the wind turbine A (Fig. 3), and 305.38 tDCB<sub>eq</sub> and 274.84 tDCB<sub>eq</sub> for turbine B during the same phases (Fig. 4). The HTP refers to the exposure and effects of toxic substances. These substances could cause acute toxicity, irritation/corrosive effects, allergenic effects, irreversible organ damage, carcinogenic effects, genotoxicity, toxicity to reproductive system, teratogenic effects, and neurotoxicity [44]. Based on the results obtained, the wind turbine B represents greater adverse effects on human health because it is the one with the highest values of HTP.

4.1.4. Fresh water aquatic ecotoxicity potential (FAETP)

The FAETP for wind turbine A is 58.11 tDCB<sub>eq</sub> and 80.00 tDCB<sub>eq</sub> for turbine B (Fig. 2). During the life cycle phases, the components with the greatest environmental impacts are the nacelle (45.06 tDCB<sub>eq</sub> for turbine A and 66.86 tDCB<sub>eq</sub> for turbine B) and the tower (7.43 tDCB<sub>eq</sub> for turbine A and 8.53 tDCB<sub>eq</sub> for turbine B; Figs. 5 and 6, respectively). The FAETP reflects the impacts on fresh water ecosystems due to emissions of toxic substances into the air, soil and water [19]. The inventory of the wind turbine B has a greater amount of materials and energy, this feature causes the highest values of FAETP in all life cycle phases and components.

4.1.5. Marine aquatic ecotoxicity potential (MAETP)

The estimated MAETP value for wind turbine A is 479.16 tDCB<sub>eq</sub> and 659.43 tDCB<sub>eq</sub> for wind turbine B (Fig. 2). The emissions to the air during the manufacture and final disposal phases are 250.27 tDCB<sub>eq</sub> and 225.24 tDCB<sub>eq</sub> respectively for the wind turbine A (Fig. 3), and 346.82 tDCB<sub>eq</sub> and 312.13 tDCB<sub>eq</sub> for turbine B during the same phases (Fig. 4). This parameter is associated with the impact on marine ecosystems [19]. As in the previous cases it is wind turbine B that has higher impact values than wind turbine A, since the latter requires less material and energy for its components.

4.1.6. Terrestrial ecotoxicity potential (TETP)

The TETP for wind turbine A is 21.66 tDCB<sub>eq</sub> and for turbine B it is 20.19 tDCB<sub>eq</sub> (Fig. 2). Wind turbine A emits 7.66 tDCB<sub>eq</sub> during manufacture and approximately 6.90 tDCB<sub>eq</sub> during final disposal phase (Fig. 3), while wind turbine B emits 10.62 tDCB<sub>eq</sub> during manufacture phase and 9.56 tDCB<sub>eq</sub> in the final disposal phase (Fig. 4). The TETP is a measure of the impact on terrestrial ecosystem quality [19,27]. Based on the results obtained, the wind

turbine B has higher values of TETP during the phases of manufacturing and disposal than wind turbine A.

#### 4.1.7. Abiotic depletion potential (ADP)

The ADP for wind turbine A is approximately 2.98 t of antimony equivalents ( $tSb_{eq}$ ) while it is 4.09  $tSb_{eq}$  for turbine B (Fig. 2). During the life cycle phases, the components with the greatest environmental impacts are the nacelle (2.31  $tSb_{eq}$  for turbine A and 3.42  $tSb_{eq}$  for turbine B), the tower (0.38  $tSb_{eq}$  for turbine A and 0.44  $tSb_{eq}$  for turbine B), and the rotor (0.27  $tSb_{eq}$  for turbine A and 0.23  $tSb_{eq}$  for turbine B; Figs. 5 and 6). The ADP indicates the degree of protection of human welfare, as well as human and ecosystemic health. It is directly related to the extraction of minerals and fossil fuels [19,29]. In general, the wind turbine B has a higher ADP than wind turbine A and it is important to remember that wind turbine B requires a greater amount of materials and energy in its manufacture.

#### 4.1.8. Photochemical ozone creation potential (POCP)

During the life cycle of the turbines, emissions of ethene equivalents ( $C_2H_4_{eq}$ ) contribute to 0.33  $tC_2H_4_{eq}$  for wind turbine A and 0.46  $tC_2H_4_{eq}$  for turbine B (Fig. 2). The POCP explains the formation of reactive substances (mainly ozone) due to the action of sunlight on air pollutants, these substances cause damage to human health and ecosystems, and may also damage crops [27,44]. Wind turbine B has a higher POCP than the turbine A.

#### 4.1.9. Acidification potential (ACP)

The acidification potential impact is estimated at 4.63 t of sulphur dioxide equivalents ( $SO_{2eq}$ ) for wind turbine A and 6.37  $tSO_{2eq}$  for wind turbine B (Fig. 2). The major contributor to this impact category in the two wind turbines is the nacelle, its value is 3.59  $tSO_{2eq}$  for wind turbine A and 5.32  $tSO_{2eq}$  for wind turbine B (Figs. 5 and 6). ACP is associated with acidifying substances that cause numerous impacts on organisms, ecosystems and materials, soil, and surface and groundwater [19]. The higher content of materials and energy requirement of turbine B implies a higher total ATP value when compared to turbine A.

#### 4.1.10. Eutrophication potential (EP)

The EP for wind turbine A is equal to 0.21 t of phosphate equivalents ( $PO_4_{eq}$ ); it is 0.29  $tPO_4_{eq}$  for wind turbine B (Fig. 2). The major contributor to this impact category is the nacelle in the two wind turbines; eutrophication potential is 0.16  $tPO_4_{eq}$  for wind turbine A and 0.24  $tPO_4_{eq}$  for wind turbine B (Figs. 5 and 6). EP is associated with all environmental impacts due to high concentrations of macronutrients that are released to soil, air and water. The main nutrients that affect this impact category are nitrogen and phosphorus [19]. The results obtained in this impact category associated with the amount of energy and materials of each turbine, show that the EP value of turbine B exceeds that of wind turbine A.

### 4.2. Comparison of results with other case of study

Different LCA studies for wind turbines materials and electricity have been carried out. However, the direct comparison of wind turbines is difficult due to different assumptions, including the size, capacity, materials and electricity used in turbines life cycle, geographical regions and even methodologies to estimate environmental impacts [29]. For example, only for the impact category global warming potential (GWP) we found different values, for wind turbines with a nominal power of 3.0 MW [26] and 250 watts [27], varying from 5530  $tCO_2_{eq}$  to 0.11  $tCO_2_{eq}$  this is 3692.1  $tCO_2_{eq}$  out of range for a turbine of 4.5 MW [27]. While the global warming potential (GWP) estimated in this case study for a wind

turbine of 2.0 MW capacity falls in the range between 403  $tCO_2_{eq}$  (turbine A) and 552  $tCO_2_{eq}$  (turbine B), this is similar to the 578  $tCO_2_{eq}$  estimated for a 1.8 MW wind turbine based [28], yet completely different to the 1164  $tCO_2_{eq}$  awarded to a wind turbine of 2.0 MW [28].

This suggests that there are no apparent relationship between environmental impacts and the size of the turbine in terms of materials and electricity used in the LCA. Just as in other types of LCA studies where the comparison of environmental impacts of wind turbines is per kWh of electricity delivered, the results have shown discordant values for different and similar wind turbines [29], and also other suggestions.

### 5. Conclusions

The LCA results show that the components with major impacts on the environment are the nacelle and the tower in both turbine designs. Turbine A was estimated to have lower impacts than turbine B during the manufacture and final disposal phases. For example, the GWP of turbine A is 26.89% lower than turbine B. The quantities and types of materials that integrated both turbines and its parts (especially the nacelle and the tower), seem to cause the highest environmental impacts. For example, the nacelle of turbine A uses 26.82% of materials lower than turbine B (mainly metallic components) and the tower of turbine A uses 12.80% of materials (as steel) lower than turbine B. Congruent with the study results, the use of fewer materials in the manufacture and components of wind turbines suggests an opportunity to improve their design. This analysis may inform decision makers on the commercial production of wind turbines in Mexico; for example, identifying which materials could be substituted or minimized in order to reduce the environmental impacts of wind turbines and using materials that are less energy intensive during manufacturing. Overall, reducing the environmental impacts of wind turbines may facilitate technological innovation and the production of sustainable and renewable energy technologies in Mexico.

### Acknowledgements

This study forms part of a wider investigation on the economic and social factors associated with the process design (manufacture, construction, and final disposal phases) of wind turbines used in Mexico. The study was supported by Project Fondo Sectorial CONACYT-SENER-Sustentabilidad Energética 117808 and by Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACyT, scholarship CVU No. 162975. The authors acknowledge Genice Grande for the technical assistance provided and Eréndira Serrano for language editing.

### References

- [1] Secretaría de Energía, SENER, Prospectiva del Sector Eléctrico 2012–2026, SENER, Mexico, 2012. Available from: [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2012/PSE\\_2012\\_2026.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PSE_2012_2026.pdf).
- [2] E. Santoyo-Castelazo, H. Gujba, A. Azapagic, Life cycle assessment of electricity generation in Mexico, *Energy* 36 (3) (2011) 1488–1499.
- [3] J.A. Medina-Ross, J.C. Mata-Sandoval, R. López-Pérez, Indicators for sustainable energy development in Mexico, *Nat. Resour. Forum* 29 (2005) 308–321.
- [4] The European Wind Energy Association, EWEA, Wind Energy The Facts – An Analysis of Wind Energy in the EU-25, 2004.
- [5] J.K. Kaldellis, D. Zafirakis, The wind energy (r)evolution: a short review of a long history, *Renewable Energy* 36 (7) (2011) 1887–1901.
- [6] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Estrategia Nacional de Cambio Climático. Vision 10–20–40, SEMARNAT, Mexico, 2013. Available from: <http://www.encc.gob.mx/documentos/estrategia-nacional-cambio-climatico.pdf>.
- [7] Comisión Federal de Electricidad (CFE), Programa de obras e inversión del sector eléctrico 2012–2026, CFE, Mexico, Available from: [http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1\\_AcercaCFE/\\_layouts/mobile/view.aspx?List=02198503-8a91-4a57-904d-d6558215bd4&View=58b9a1a3-b23d-4a10-8b97-6e7c19221302](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_AcercaCFE/_layouts/mobile/view.aspx?List=02198503-8a91-4a57-904d-d6558215bd4&View=58b9a1a3-b23d-4a10-8b97-6e7c19221302).



- [8] Presidencia de la República, Plan Nacional de Desarrollo 2013–2018, México, Available from: <http://pnd.gob.mx/wp-content/uploads/2013/05/PND.pdf>.
- [9] Diario Oficial de la Federación (DOF), Ley General de Cambio Climático, DOF (06/06/2012), México, Available from: <http://www.diputados.gob.mx/Leyes-Biblio/pdf/LGCC.pdf>.
- [10] Diario Oficial de la Federación (DOF), Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, Modificación, DOF (01/06/2011), México, Available from: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5192539&fecha=01/06/2011&print=true](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5192539&fecha=01/06/2011&print=true) (accessed 10.04.13).
- [11] Diario Oficial de la Federación (DOF), Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, DOF (28/11/2008), México, Available from: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LASE.pdf>.
- [12] Presidencia de la República, Reforma Energética (12/09/2013), México, Available from: <http://presidencia.gob.mx/reformaenergetica/#/landing>.
- [13] M.A. Borja-Díaz, R. González-Galarza, F. Mejía-Neri, J.M. Huacuz-Villamar, R. Saldana-Flores, M.C. Medrano-Vaca, Estado del arte y tendencias de la tecnología eólica, Instituto de Investigaciones Eléctricas, UNAM, México, 1998.
- [14] Secretaría de Energía (SENER), Prospectiva de Energías Renovables 2013–2027, SENER, México, 2013. [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2014/Prospectiva\\_Energias\\_Reno\\_13-2027.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2014/Prospectiva_Energias_Reno_13-2027.pdf).
- [15] Y. Cancino-Solórzano, A.J. Gutiérrez-Trashorras, J. Xiberta-Bernat, Current state of wind energy in Mexico, achievements and perspectives, Renewable Sustainable Energy Rev. 15 (8) (2011) 3552–3557.
- [16] R. González, J.M. Franco, F.A. Carvajal, H.R. Jiménez, J.L. Silva, R. Garduno, I. Torres, Desarrollo de la Máquina Eólica Mexicana en el IIE: proyecto MEM, Boletín IIE, april–june, 2013, Tech. rep.
- [17] J.M. Huacuz, Máquina Eólica Mexicana (proyecto MEM), Boletín IIE, Breves técnicas, México, Available from: <http://www.iie.org.mx/boletin022008/breves03.pdf>.
- [18] H. Hondo, Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case, Energy 30 (11–12) (2005) 2042–2056.
- [19] E. Martínez, E. Jiménez, J. Blanco, M. Pérez, Environmental impact of modern wind power under LCA methodology, in: S.M. Muyeen (Ed.), Wind Power, Intech, 2010, ISBN 978-953-7619-81-7. Available from: <http://www.intechopen.com/books/wind-power/environmental-impact-of-modern-wind-power-under-lca-methodology>.
- [20] E. Martínez, F. Sanz, S. Pellegrini, E. Jiménez, J. Blanco, Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine, Renewable Energy 34 (3) (2009) 667–673.
- [21] E. Martínez, F. Sanz, S. Pellegrini, E. Jiménez, J. Blanco, Life-cycle assessment of a 2-MW rated power wind turbine: CML method, Int. J. Life Cycle Assess. 14 (1) (2009) 52–63.
- [22] P. Garrett, K. Rønde, Life cycle assessment of wind power: comprehensive results from a state-of-the-art approach, Int. J. Life Cycle Assess. 18 (1) (2013) 37–48.
- [23] P. Garrett, K. Rønde, Life Cycle Assessment of Electricity Production from a V80-2.0 MW Gridstreamer Wind Plant, Vestas Wind Systems A/S, Aarhus, Denmark, 2011.
- [24] Elsam Engineering A/S, Life Cycle Assessment of Offshore and Onshore Sited Wind Farms, Translation of The Danish Elsam Engineering Report 186768, Vestas Wind Systems A/S, Denmark, 2004.
- [25] L. Schleisner, Life cycle assessment of a wind farm and related externalities, Renewable Energy 20 (3) (2000) 279–288.
- [26] R.H. Crawford, Life cycle energy and greenhouse emissions analysis of wind turbines and the effect of size on energy yield, Renewable and Sustainable Energy Rev. 13 (9) (2009) 2653–2660.
- [27] B. Treméac, F. Meunier, Life cycle analysis of 4.5 MW and 250 W wind turbines, Renewable Sustainable Energy Rev. 13 (8) (2009) 2104–2110.
- [28] B. Guezuraga, R. Zauner, W. Polz, Life cycle assessment of two different 2 MW class wind turbines, Renewable Energy 37 (1) (2012) 37–44.
- [29] B. Greening, A. Azapagic, Environmental impacts of micro-wind turbines and their potential to contribute to UK climate change targets, Energy 59 (2013) 454–466.
- [30] Secretaría de Energía (SENER), Estadísticas destacadas del sector energético, SENER, México, Available from: [http://www.sener.gob.mx/portal/estadisticas\\_destacadas\\_del\\_sector\\_energetico.html](http://www.sener.gob.mx/portal/estadisticas_destacadas_del_sector_energetico.html) (accessed 27.03.13).
- [31] The wind power, Countries statistics, wind turbines and wind farms database, Available from: [http://www.thewindpower.net/statistics\\_countries\\_en.php](http://www.thewindpower.net/statistics_countries_en.php) (accessed 17.01.13).
- [32] The wind power, Wind turbine manufacturers, wind turbine and wind farm database, Available from: [http://www.thewindpower.net/manuturb\\_manufacturers\\_en.php](http://www.thewindpower.net/manuturb_manufacturers_en.php) (accessed 17.01.13).
- [33] International Energy Agency (IEA), Technology Roadmap, Wind Energy, 2013.
- [34] Asociación Mexicana de energía eólica (AMDEE), Proyectos eólicos en operación en México, AMDEE, México, 2012. Available from: <http://amdee.org/Proyectos/ProyectosEolicosenMexico2012dic.pdf>.
- [35] ISO 14040, Environmental Management Life Cycle Assessment Principles and Framework, International Organization for Standardization, Geneva, 2006.
- [36] ISO 14044, Environmental Management Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines, International Organization for Standardization, Geneva, 2006.
- [37] M. Pehnt, Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies, Renewable Energy 31 (1) (2006) 55–71.
- [38] J. Dismukes, L. Miller, J. Bers, The industrial life cycle of wind energy electrical power generation: ARI methodology modeling of life cycle dynamics, Technol. Forecast. Soc. Chang. 76 (1) (2009) 178–191.
- [39] L. Gagnon, C. Bélanger, Y. Uchiyama, Life-cycle assessment of electricity generation options: the status of research in year 2001, Energy Policy 30 (14) (2002) 1267–1278.
- [40] J. Guinée (Ed.), Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards, first ed., Kluwer Academic Publishers, USA, 2002.
- [41] E. Martínez, E. Jiménez, J. Blanco, F. Sanz, LCA sensitivity analysis of a multi-megawatt wind turbine, Appl. Energy 87 (7) (2010) 2293–2303.
- [42] S. Varming, H. Hassing, in: Life Cycle Assessment for Wind Turbines, 2001 European Wind Energy Conference and Exhibition, Copenhagen, Denmark, 2–6 July, 2001.
- [43] B. Batumbya, J. Liu, W. Damien, T. Lukawski, Life Cycle Assessment of a Wind Turbine, Life Cycle Assessment, 2006, IN1800.
- [44] H. Stranddorf, L. Hoffmann, A. Schmidt, Impact Categories, Normalisation and Weighting in LCA, Danish Ministry of the Environment, Environmental Protection Agency, 2005, Environmental news No. 78.

---

---

## VIII. LEGISLACIÓN AMBIENTAL

Como se ha mencionado en los apartados anteriores, la generación de energía eléctrica se encuentra regulada en el Artículo 27. Hasta antes de las modificaciones del 2013 era actividad exclusiva del Estado mexicano la generación energía eléctrica.

Como lo sugieren Soberanes y Treviño, para ahondar en el tema de la legislación ambiental, es conveniente precisar qué se entiende por ‘ambiente’; así estos autores lo definen como los elementos físicos, bióticos, económicos y sociales, y el sistema de interrelaciones que existen en el entorno de una zona o región en estudio<sup>14</sup>.

De manera más general, dentro de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, LGEEPA, se define al ambiente como *‘el conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados’* [DOF, 2015].

A partir de los diferentes conceptos mencionados con anterioridad, se hace evidente la necesidad de mantener un respetuoso equilibrio entre este conjunto de elementos, de aquí la premura de generar normas a seguir para su protección conjunta, resultando en la preservación del ambiente a través de un uso eficiente y racional de los recursos.

La generación de electricidad está íntimamente relacionada con el ambiente, el bienestar social y, por ende, con el desarrollo económico de un país. Si se recuerda que por mucho tiempo, las tecnologías de generación de electricidad han estado basadas en energéticos baratos, constantes, abundantes y que representaron la emisión a la atmósfera de gases y material particulado contaminante, sin considerar los efectos que éstos presenten en el ambiente, se tendrá un entendimiento más claro de esta relación energía-ambiente-bienestar social.

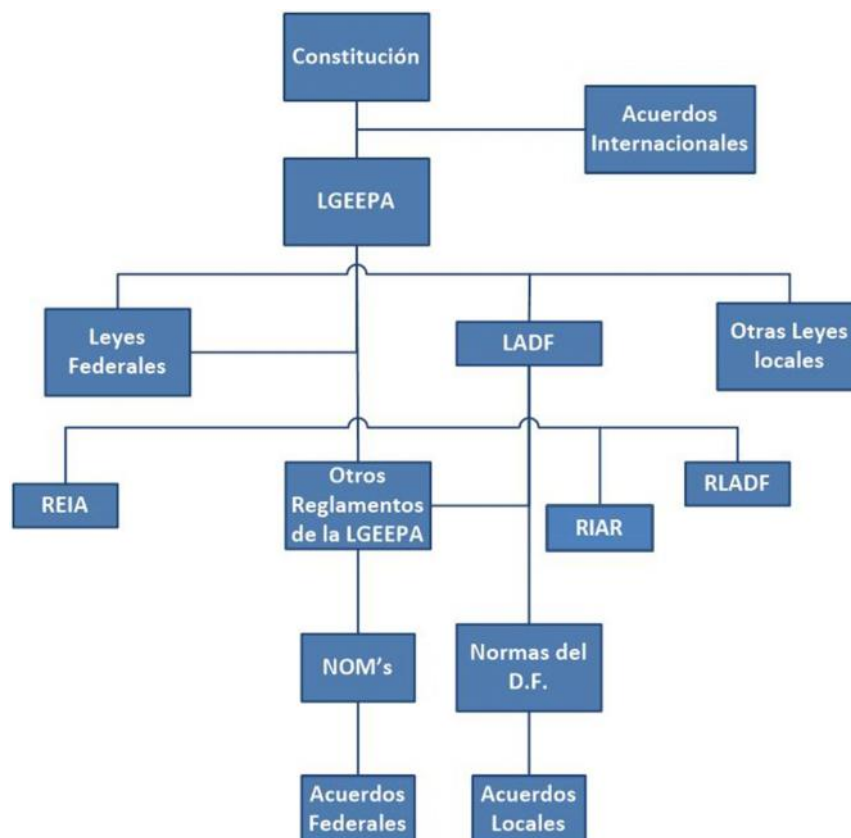
En los últimos años, se han implementado tecnologías de generación de electricidad más eficientes y limpias, con las que se han logrado reducir los efectos negativos en el ambiente. Así, a la par con las nuevas tecnologías, se han desarrollado normas que regulan ya sea en materia de emisiones a la atmósfera, eficiencia energética y uso eficiente de la energía.

La legislación ambiental mexicana se fundamenta en los Artículos 4, 25, 27, 73 y 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Dichos artículos regulan en materia de protección al ambiente, aseguran el bienestar social mediante la protección de la salud, la prevención de la contaminación ambiental, así como la preservación de los recursos naturales.

---

<sup>14</sup> Soberanes y Treviño definen a los elementos físicos como todo aquello que no tiene vida, que proporciona directa o indirectamente sustento y lugar de desarrollo de la misma (condiciones topográficas y batimétricas, el agua, clima, régimen de vientos, condiciones geológicas, suelos, etcétera. Dentro de los elementos bióticos se encuentran aquellos que tienen vida, flora y fauna y sus interacciones. La interrelación entre los elementos bióticos y físicos o abióticos da lugar al ecosistema. Los elementos económicos permiten el sustento del ser humano (actividad agrícola, comercial, industrial, turística, etc.). Finalmente, los elementos sociales son las características de las poblaciones en cuanto a demografía, costumbres, región, escolaridad, composición étnica, etcétera. [Soberanes; Treviño, 1997].

La Figura 18 muestra el marco regulatorio existente en materia ambiental, aplicable a nivel federal, local y en el D. F.; ha de notarse la jerarquización que presenta la legislación mexicana, partiendo de la Constitución Política, Leyes, Reglamentos, Normas Oficiales Mexicanas (NOM), para finalmente llegar a los acuerdos federales y locales.



**Fuente:** Elaboración propia.

LADF: Ley Ambiental del Distrito Federal, REIA: Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de evaluación del impacto ambiental, RLADF: Reglamento de la Ley Ambiental del Distrito Federal, RIAR: Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo.

**Figura 18.** Legislación ambiental mexicana.

Los instrumentos regulatorios han evolucionado a partir de las directrices marcadas en los Artículos constitucionales señalados en la sección anterior, hasta instrumentos legales como la LGEEPA, creada en 1988 y reformada en 1996 [Soberanes; Treviño, 1997], o la Ley General de Cambio Climático, LGCC, cuyo decreto se emitió en el 2012.

Hacia Enero del 2015 la LGEEPA sufre su última modificación. Tuvo su origen en la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental de 1971, que más tarde (1982) fue abrogada por la Ley Federal de Protección al Ambiente. Por su parte, la LGCC fue modificada por última vez en Diciembre del 2014. A continuación se hace una breve descripción de estas leyes.

---

---

### VIII.i. ESTRUCTURA INSTITUCIONAL/COMISIONES ENCARGADAS Y REGULADORAS

La política energética de México recae en la Secretaría de Energía, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Por su parte, la SENER se encarga del seguimiento de la política energética mexicana y garantizar el suministro sustentable de los energéticos [SENER, 2014a].

Esta política energética, como todas las Leyes, se deriva del marco constitucional vigente. Las actividades que la SENER desarrolla se describen tanto en el Programa Sectorial de Energía 2007-2012, en el Programa Especial para el Aprovechamiento de las Energías Renovables, así como en la Estrategia Nacional de Energía 2010 (2009-2024) y la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (2009) [SENER, 2009a; SENER, 2014a].

La CRE, es una entidad independiente de la SENER y tiene a su cargo la normatividad de los recursos energéticos (combustibles fósiles y electricidad) con los que cuenta la nación. Debe regular de manera transparente, imparcial y eficiente las industrias petrolera y de electricidad mediante un desarrollo energético competitivo y sostenible, en beneficio de la sociedad [www.cre.gob.mx, 2012].

Como se mencionó con anterioridad, LAERFTE le atribuye nuevas actividades a la CRE, como la creación de normas para la generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables, reglas de despacho, de interconexión, o respecto a la capacidad de las energías renovables [SENER, 2014a].

El ente de gobierno que se encarga de suministrar la energía eléctrica a la población es la CFE; a partir de la Reforma Energética, junto con los productores privados la genera electricidad pero es únicamente la CFE quien puede transmitirla, transformarla, distribuirla y comercializarla. Las actividades que la CFE realiza dan prioridad a la sustentabilidad, el desarrollo del país y la preservación del ambiente [www.cfe.gob.mx, 2015].

La Comisión Federal de Electricidad también da asesoría técnica a la CRE y cuenta con el Centro Nacional de Control de Energía que se encarga del SEN. La planeación de la expansión del SEN, así como las acciones de interconexión se realiza a través de la Subdirección de Programación de la CFE y la Coordinación de Planificación, respectivamente [SENER, 2014a].

La investigación, innovación y desarrollo del sector eléctrico nacional se encuentra a cargo del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). A esta tarea se suma la labor del Centro Regional de Tecnología Eólica (CERTE). Finalmente, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), la SENER, la Secretaría de Economía (SE) y la CFE, se encargan de definir las tarifas eléctricas del servicio público [SENER, 2014a].

## IX. RÉGIMEN FISCAL EN MATERIA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Según Soberanes y Treviño, las tarifas por el consumo de electricidad deben reflejar los costos de producción, incluyendo los costos ambientales (costos marginales, tarifas diarias y temporales, etcétera) y deben estimarse durante las etapas de planeación y selección del sitio los costos directos más los de externalidades de cada alternativa a fin de seleccionar aquella con una relación costo/beneficio óptima y sustentable en el mediano y largo plazos [Soberanes; Treviño, 1997].

De manera global, los incentivos fiscales han impulsado la proliferación de plantas de generación a base de fuentes renovables de energía en todo el mundo, propiciando su integración en la matriz energética, por ende, se han tenido que generar las políticas públicas necesarias que incentiven dicha transición. Con tales estímulos son más los inversionistas interesados en el desarrollo de proyectos de generación alternativa y se crean fuentes de empleo.

Ejemplo de los casos de éxito para garantizar la sostenibilidad futura del crecimiento de la generación con fuentes renovables de electricidad son los Estados Unidos, ya que cuentan con créditos fiscales a la producción de energía renovable y al cumplimiento de metas de producción a partir de la energía eólica, así como una política federal sobre la planificación de la transmisión eléctrica que considera a las energías renovables y el desarrollo de una legislación de cambio climático que busca controlar las emisiones del sector eléctrico. Además de lo anterior, el incremento de los costos del gas natural ha propiciado que los métodos tradicionales de generación eléctrica pierdan terreno frente al uso de las energías renovables y que, en el caso de la generación eólica, ha propiciado la investigación y el desarrollo en este campo, lo que ha permitido la fabricación de turbinas más grandes y más eficientes con el consecuente decremento en el costo de generación de electricidad.

También fueron creadas políticas de orden federal y estatal. A nivel federal existe el Crédito Fiscal a la Producción de energía renovable (PTC por sus siglas en inglés) y está dirigido a los desarrolladores privados de energía renovable. El Incentivo a la Producción de Energía Renovable (REPI por sus siglas en inglés) que fue diseñado para las empresas públicas y cooperativas eléctricas, que no califican para el PTC y que ha sido el antecesor de los bonos de energías renovables para compañías eléctricas públicas y cooperativas eléctricas [USAID, 2009].

### IX.i. TARIFAS DEL SECTOR ELÉCTRICO

Las tarifas eléctricas en México son propuestas por la CFE y aprobadas por la SHCP. Hasta antes de que se aprobara la Reforma Energética los precios cobrados a usuarios industriales y comerciales eran ajustados de manera mensual, en función de la variación en los precios de los combustibles utilizados en la generación eléctrica<sup>15</sup>. Los costos eran elevados principalmente por falta de competencia, haciendo las

<sup>15</sup> Las tarifas agrícolas de estímulo 9-CU y 9-N, que se ajustan anualmente. Las tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica se clasifican de acuerdo con su uso y nivel de tensión en: Domésticas: 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F y Doméstica de Alto Consumo (DAC); Servicios públicos: 5, 5-A y 6; Agrícola: 9, 9M, 9-CU y 9-N; Temporal (comercial): 7; Generales en baja tensión (comercial): 2 y 3; Generales en media tensión (industrial): O-M, H-M y H-MC; Media tensión con cargos fijos: OMF, H-MF y H-MCF; Generales en alta tensión: HS, HS-L, HT y HT-L; Alta tensión con cargos fijos: HSF, HS-LF, HTF y HT-LF; Respaldo en media tensión: HM-R, HM-RF y HM-RM; Respaldo en alta tensión: HS-R, HS-RF, HS-RM, HT-R, HT-RF y HT-RM; Servicio interrumpible: I-15 e I-30 [SENER, 2013b].

---

---

tarifas no competitivas, los cargos fijos para estos usuarios y el total de las tarifas residenciales y agrícolas, eran ajustados según la relación de los índices de precios y la inflación [SENER, 2013b].

No obstante, esta estructura diferenciada de precios y subsidios ha incentivado al sector industrial y comercial a optar por el esquema de autoabastecimiento, en consecuencia se genera un déficit de financiación del esquema de subsidios a la CFE. Hacia el año 2009 este déficit era limitado pues se hablaba de sólo el 15% de los clientes industriales prefirieron no ser abastecidos por la CFE [USAID, 2009].

Durante la primera década de los años 2000 el congelamiento de las tarifas residenciales, el continuo incremento de la demanda residencial a una tasa anual del 4.5% y el desplazamiento de parte del consumo industrial abastecido por la CFE a la modalidad de autoabastecimiento ocasionaron perturbaciones que hacían insostenible el sistema de subsidios en México [USAID, 2009].

Según la SENER, en promedio existe una diferencia importante entre las tarifas destinadas a los sectores comercial y de servicios y las del sector industrial, siendo la mediana empresa comercial la que tiene la tarifa más alta. Respecto a la tarifa residencial, en los últimos 10 años ha presentado una tendencia diferente a la del resto de las tarifas pues tuvo pocas variaciones y hacia el final del período se ubicó por debajo de la tarifa industrial promedio. Por otra parte, por los incentivos con los que cuenta el sector agrícola es éste el que tiene la tarifa más baja y la de mayor estabilidad en los últimos 15 años [SENER, 2013b].

Las tres tarifas subsidiadas en México son las tarifas domésticas (salvo los usuarios de alto consumo que reciben la tarifa DAC) y dos tarifas agrícolas. El subsidio doméstico se aplica dependiendo de la temperatura y estación del año; en función de su nivel de consumo debido a la temperatura se crearon tres rangos, de manera que en las regiones de mayor temperatura, los bloques de consumo subsidiado son más grandes. La SENER indicó que a finales del 2012 los subsidios a los usuarios por concepto de tarifa doméstica alcanzaron los 89,821 millones de pesos. Por otro lado, las tarifas industriales y comerciales no cuentan con subsidios y tienden a cubrir los costos totales de suministro [SENER, 2013b].

Las tarifas más altas corresponden al sector comercial y de servicios, alcanzando en el 2012, 2.91 y 2.08 pesos por kW-hora respectivamente. Mientras que la tarifa más baja es la del sector agrícola, siendo de 0.58 pesos por kilowatt-hora en 2012, esto es consecuencia de que esta tarifa es la más beneficiada por los subsidios. Las tarifas industriales se mantienen en un nivel intermedio, siendo la tarifa de la mediana empresa la más alta dentro de este rubro con 1.65 pesos por kilowatt-hora en el 2012 y 1.09 en el 2002. Para la gran industria paso de 0.75 a 1.27 pesos por kilowatt-hora en dicho período. En general la tarifa del sector industrial se ubicó en 1.51 en el 2012, mientras que en el 2002 era de 0.94 pesos por kilowatt-hora [SENER, 2013b].

Durante el 2012 las tarifas eléctricas residencial, excepto la DAC, agrícola, la de bombeo de aguas potables y negras, y la de alumbrado público siguieron sufriendo ajustes mensuales; los incrementos se hicieron con base en factores fijos [SENER, 2014c].

Así surgió la necesidad de realizar ajustes graduales a las tarifas de electricidad que posteriormente reflejen sus verdaderos costos a través de la creación de subsidios para los usuarios, así el costo se incrementaría paulatinamente con el monto de venta. No obstante, estos apoyos se traducirían en una pérdida de ingresos, y es así como se propuso, con apoyo de la SHCP, la unificación las ocho tarifas del servicio doméstico [SENER, 2014c].

Actualmente, las tarifas de transmisión, distribución y las de los servicios del CENACE son reguladas por la CRE; se favorece la producción de energía eléctrica a bajo costo para el beneficio de la sociedad en general. También seguirá siendo función del a SHCP la aplicación de las tarifas y subsidios a los usuarios y los precios que éstos pagarán se fijarán según el mercado; la SENER vigilará que los generadores no acaparen su producción y que sus precios reflejen los verdaderos costos [SENER, 2014c].

En el período 2014-2028, los ajustes del precio medio, se hacen con base en ajustes anuales, estando las tarifas en función de la inflación. El nivel de subsidio y la relación precio/costo fija continuarán llevándose a cabo. Las tarifas en cuestión son las del sector residencial 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E, 1F, y del sector agrícola 9CU y 9N, la tarifa 6 de bombeo de aguas potables y negras. El ajuste automático mensual relacionado con las variaciones en el costo de suministro, dependerán también de la inflación y los precios de los combustibles; los escenarios estudiados por la SENER contemplan tal comportamiento [SENER, 2014c].

En el caso de las tarifas industriales de alta y media tensión (HT, HTL, HS, HSL, HM, HMC y OM), las tarifas comerciales 2, 3 y 7 y la DAC en el sector residencial, el ajuste se realizó con factores variables mensuales que reflejaron las variaciones en el costo de suministro. Por ello y en apoyo a estos sectores, el 30 de Abril de 2013 se publicó el ‘Acuerdo por el que se autoriza modificar las disposiciones complementarias a las tarifas para suministro y venta de energía eléctrica’, en el que se proponen los ajustes por los combustibles utilizados en la generación eléctrica por la CFE, haciendo las tarifas más bajas [SENER, 2014c].

En la Tabla 31 se muestran los costos unitarios generación de energía eléctrica en la CFE durante el año 2013.

**Tabla 31:** Costos unitarios de generación eléctrica, 2013.

Tecnología	Costo (\$/MW/h)
Termoeléctrica	1,442.5
Turbogas y ciclo combinado	937.3
Vapor	2,349.3
Carbón y dual	1,019.4
Geotérmica	591.7
Eólica	1,458.1
Nuclear	839.5
Hidro	1,046.1

**Fuente:** SENER, 2014c.

---

---

## X. EVOLUCIÓN/CAMBIOS EN IMPUESTOS Y SUBSIDIOS

La experiencia en otros países ha mostrado que las metas de generación mínimas iban acompañadas de instrumentos de apoyo para financiar la transición energética a tecnologías más limpias. Ya que en México la generación de electricidad está a cargo de la CFE con escasa participación del sector privado, los instrumentos de apoyo deben enfocarse en fomentar el uso de fuentes más limpias de generación de energía.

En México se tiene el antecedente de un subsidio a la generación o ‘fondo verde’ con el proyecto eólico La Venta III; en éste el productor independiente recibe durante los primeros cinco años US\$ 11/MWh. Dado el esquema de comprador único, este subsidio principalmente favorece a la CFE, ya que tiene que pagar al productor independiente un menor precio por la energía generada [USAID, 2009].

Al año 2009, eran pocos los incentivos públicos creados con el objeto de fomentar el uso de las fuentes renovables de energía y el marco regulatorio era poco claro dificultando la participación del sector privado en la producción de energía eólica. En la LSPEE (sección 2.4.5) se definían las distintas modalidades en las que la participación privada en el sector podría integrarse y se consideraron las siguientes figuras [USAID, 2009]:

- 1) Autoabastecimiento: generación de energía eléctrica para fines de autoconsumo.
- 2) Cogeneración: producción de energía eléctrica, a partir de energía térmica secundaria, energía térmica no aprovechada, o utilizando subproductos del proceso como combustibles. La electricidad generada debe estar destinada a la satisfacción de las necesidades del permisionario.
- 3) Producción independiente: electricidad generada en una planta con capacidad mayor de 30 MW y cuya venta debe ser únicamente a CFE o destinada a exportación.
- 4) Pequeña producción: se trata de electricidad que únicamente se venderá a la CFE o será exportada (proyectos con una capacidad menor de 30 MW); o será para el autoabastecimiento de pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas (proyectos con una capacidad menor de 1 MW).
- 5) Exportación: electricidad generada por cogeneración producción independiente o pequeña producción cuyo destino final es la exportación.
- 6) Importación: energía eléctrica proveniente del extranjero destinada al consumo propio del permisionario.

Bajo estos esquemas, queda en manos de la CFE la selección de los proyectos (capacidad, tecnología y tipo de financiamiento) que se han de llevar a cabo mediante procesos de licitación. De éstos, los que son más utilizados en la generación eólica mexicana son la producción independiente, la exportación y el autoabastecimiento [USAID, 2009].

Romero Hernández, et al., indican que en la producción independiente la energía eólica tiene la desventaja de considerar únicamente el costo económico de corto plazo de la generación de energía, sin tomar en cuenta factores como la estabilidad de precios de generación y la seguridad en el abastecimiento de energía; a ello debe adicionarse el hecho de que la CFE ha contemplado dentro de sus esquemas de expansión el uso del gas natural como medio de generación, por lo que las fuentes renovables diferentes a la hidráulica han pasado a un segundo plano, rezagándose en su desarrollo [Romero Hernández, et al., 2011].



Con respecto al autoabastecimiento remoto, el punto de quiebre está representado por el acceso que los permisionarios podrían llegar a tener a las redes de transmisión con las que cuenta la CFE, como ejemplo se tiene la temporada abierta en el estado de Oaxaca (que, también ha propiciado el crecimiento de nuevas líneas de transmisión) en donde el acceso a las líneas de transmisión ha sido fundamental en la creación, ubicación y capacidad de los campos eólicos al ser necesario planificar y financiar nuevas líneas de transmisión. Además, existe un cobro por servicio de transmisión, cuya metodología de cálculo está a cargo de la CRE pero se calcula con base en la información que posee la CFE, motivo que representa una barrera importante en el desarrollo de esta modalidad. En este caso, la generación eólica se ve afectada porque la CFE se encarga de especificar las cuotas a cubrir por concepto de transmisión [Romero Hernández, et al., 2011].

En palabras de Romero Hernández, et al., *'si bien es cierto que una gran parte del desarrollo del autoabastecimiento remoto tiene el objetivo de conseguir un aprovisionamiento de energía eléctrica más barato para el sector industrial, también lo es que disminuye la cuota de mercado de la comisión y pone en peligro su esquema de subsidios cruzados. De no modificarse sustancialmente los niveles tarifarios del sector residencial para evitar la necesidad de subsidios elevados, la CFE tendrá un incentivo muy grande para ejercer una posición de poder en el mercado e impedir el desarrollo del autoabastecimiento remoto.'* [Romero Hernández, et al., 2011].

Los subsidios en el sector eléctrico mexicano son de los más elevados del mundo, según el reporte elaborado por la U.S. Agency for International Development del 2009, se alcanzaron 9,000 millones de US\$ en el año 2005 y en el año siguiente los subsidios fueron equivalentes al 1% del GDP, representando más de un tercio de los ingresos del sector eléctrico, cerca de dos tercios de los subsidios se destinan al sector residencial (cerca de 46% en términos reales entre el 2002 y el 2006 debido al congelamiento de las tarifas residenciales y el incremento en los precios del petróleo y del gas natural) [USAID, 2009].

Según la Prospectiva del Sector eléctrico, 2013-2027, en los últimos seis años, el precio medio de la electricidad aumentó según los ajustes en los precios de los combustibles y la inflación, y fue posible mejorar la relación precio/costo del suministro de energía eléctrica resultado de la evolución de tarifas y los costos de CFE, así como la integración de la zona centro a partir de 2010. Lo anterior se muestra en la Tabla 32 [SENER, 2013b].

**Tabla 32:** Precio medio, relación precio costo del suministro de la energía eléctrica y subsidios al consumidor de energía eléctrica del SEN, 2007-2012.

Concepto	2007	2008	2009	2010	2011
Precio Medio (\$/kWh)	1.178	1.373	1.212	1.335	1.427
Precio/Costo	0.69	0.64	0.63	0.72	0.76
Subsidio (M\$)	105,819	148,522	132,334	102,123	101,522

**Fuente:** Prospectiva del Sector Eléctrico, 2013-2027.

La tendencia actual en materia de energías renovables, en general, es a una disminución en sus costos de producción como consecuencia del crecimiento de este sector, la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías y más eficientes. La Secretaría de Economía realiza un estimado global y nacional del costo de la energía eólica, como se muestra en la Tabla 33.

**Tabla 33:** Costos de la generación eólica de electricidad.

Tipo de energía	Costo 2010-2020 (US\$2009 por MWh)			Costo 2021-2035 (US\$2009 por MWh)			Índice de aprendizaje
	Mín.	Máx.	Prom.	Mín.	Máx.	Prom.	
Eólica terrestre	63	126	85	57	88	65	7%
Eólica marina	78	141	101	59	94	74	9%

**Fuente:** PROMÉXICO, 2013b.

Según estimaciones de la SENER, el costo de la tecnología eólica se reduciría entre un 7 y un 9% por cada duplicación de la capacidad instalada acumulada. La Secretaría de Economía indica que el hecho de que sólo se esté utilizando el 3.2% de la capacidad potencial del país incrementa la posibilidad de que se desarrolle la inversión en esta forma de energía [PROMÉXICO, 2013b].

En primera instancia, un punto a favor de las tecnologías renovables es el hecho de que éstas pueden aprovechar el camino ya recorrido por los desarrolladores de equipo de generación de electricidad no contaminante pues ya cuentan con programas que pueden aprovechar, incluso mencionan que estos factores, los bajos costos industriales y la mano de obra calificada, pueden aprovecharse en la producción de equipos que utilicen energías renovables, ER, y permitir el desarrollo de la industria manufacturera [PROMÉXICO, 2013b].

---

---

## XI. BASES DE DATOS Y TIPOS DE SOFTWARE EMPLEADOS PARA REALIZAR UN ACV

A nivel mundial, se encuentran disponibles una gran variedad de bases de datos para facilitar los estudios del ACV. Existen diversas instituciones u organizaciones que proporcionan datos de LCI para lograr una propagación mundial de datos LCI. Se han generado bases de datos en las distintas regiones del mundo, como en África, la región del APEC (Asia Pacific Economic Co-Operation) y en Asia, Europa y América (Canadá, EE. UU. y América Latina) [Curran, et al., 2006].

### *XI.i. Bases de datos disponibles*

#### *XI.i.i África*

En Sudáfrica, el mayor exportador de materias primas, la demanda externa de datos respecto al inventario del Ciclo de Vida en el sur de África se ha ido incrementando. Algunas universidades sudafricanas y centros de investigación han realizado ACV por más de diez años; sin embargo, los estudios del ACV aún no han sido aprovechados por la industria sudafricana ni por el gobierno.

En los países en desarrollo en general, la capacidad para elaborar ACV es escasa, al igual que el interés tanto de la industria como del gobierno. Estos estudios, comúnmente se realizan sólo en instituciones académicas o de investigación. En muchos de los países que proveen recursos a los países desarrollados, se ha estado considerando la importancia de las bases de datos de los LCI en los productos y servicios que proporcionan los países en desarrollo.

#### *XI.i.ii Región APEC y Asia*

Japón es el país que ha fomentado el desarrollo de bases de datos públicas con datos aplicables en la región Asia-Pacífico, a través de distintas actividades que incrementen la capacidad para desarrollar ACV; en Diciembre de 2005 se celebró la última reunión que perseguía dicho fin, en Bangkok, Tailandia. En este evento se identificó la necesidad de realizar un foro internacional en ACV de los países miembros de la APEC; con ello se pretende impulsar la colaboración y transmisión de conocimientos en materia del ACV entre países desarrollados y países en desarrollo; el objetivo fundamental es elaborar una base de datos internacional para la región. Con ello se ha generado una red de investigadores expertos en ACV. En el año 2000, la Asociación de Gestión de Medio Ambiente de Japón para la Industria (Japan Environmental Management Association For Industry, JEMAI) puso en marcha un proyecto en conjunción con Australia, Indonesia, Corea, Malasia, Singapur, Taiwán y Tailandia para intercambiar información y desarrollar datos de LCI en materia de energía y algunos materiales básicos.

#### *Japón*

En Japón, el progreso en el ACV se estimuló significativamente por el Proyecto Nacional de ACV, iniciado por el Ministerio de Comercio Internacional e Industria (Ministry of International Trade and Industry, MITI) en Octubre de 1998. El proyecto se desarrolla con la participación de industria, gobierno,

---

instituciones de investigación y la academia. El proyecto ha promovido la participación del público, la credibilidad en la base de datos de ACV para el desarrollo de la metodología del ACV y la práctica en todo Japón. Los datos del ICV para la producción de una gran variedad de materiales japoneses son generados por las asociaciones industriales japonesas, mientras que para llenar los datos faltantes en los cálculos de las matrices de insumo/producto, se utilizan estadísticas y modelos de los procesos. La base de datos está disponible en la web para aquellos que paguen una cuota y sean socios. Sin embargo, esta base de datos se encuentra exclusivamente en japonés.

### *Australia*

En Australia, numerosos institutos de investigación, consultores y asociaciones industriales han desarrollado bases de datos de LCI. Sin embargo, hasta ahora, sólo lo que se ha desarrollado bajo los auspicios del Proyecto Australiano de Datos del Inventario del Ciclo de Vida (esfuerzo de colaboración del Centro de Diseño de la Royal Melbourne Institute of Technology, RMIT, el Centro de Tecnología del Agua y Residuos en la Universidad de Nueva Gales del Sur y la Cooperativa del Centro de Investigación de Administración de Residuos y Control de la Contaminación), se ha puesto a disposición pública. En este proyecto, se ha desarrollado una serie de datos de LCI para varios materiales australianos plásticos, botellas de vidrio, aluminio, acero, madera, cartón, cemento, electricidad y calefacción a partir de diferentes combustibles, y una variedad de procesos de transporte. Los conjuntos de datos se desarrollaron a partir de la mejor información disponible de Australia, complementados con información de datos del extranjero, en caso necesario. Estos datos, los informes del proyecto y los inventarios actualizados, disponibles en Internet. Las actividades del ACV en Australia, se coordinan cada vez más con la creación de la Sociedad Australiana de ACV (Australian Life Cycle Assessment Society, ALCAS). La ALCAS se encuentra elaborando un protocolo de recolección de datos para una base de datos nacional del ICV, que se prevé que será organizado y apoyado por la Organización Científica Centralizada Australiana, y la Organización de Investigación (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, CSIRO).

### *Corea*

Corea ha apoyado dos proyectos de construcción de bases de datos para LCI, uno es apoyado por el Ministerio de Comercio, Industria y Energía (Ministry of Commerce, Industry and Energy, MOCIE); el otro es apoyado por el Ministerio del Ambiente (MOE, por sus siglas en inglés). Estos proyectos se concluyeron en el año 2003, y se lograron cerca de 250 módulos del ICV. Actualmente Corea se encuentra en la segunda fase de los proyectos de bases de datos LCI; como en el 2004, el MOCIE y el MOE han actualizado las bases de datos de LCI existentes y creado otras. Como resultado, Corea tiene en la actualidad cerca de 300 módulos de LCI que están siendo utilizados para el Programa Coreano de Declaración Ambiental Tipo III. A partir de 2004, el Ministerio de Construcción y Transporte (Ministry of Construction and Technology, MOCT) inició el proyecto de 3 años para construir las bases de datos nacionales de LCI, principalmente para la promoción y construcción de materiales y procesos. Estas bases de datos se utilizan en el Programa de Certificación de Edificios Verdes.

### *Taiwán*

Los programas de ACV desarrollados en Taiwán han estado en marcha durante los últimos 10 años. Las actividades desarrolladas incluyen un proyecto del Instituto de Investigación en Tecnología Industrial (Industrial Technology Research Institute, ITRI) para desarrollar una base de datos de LCI, el cual está financiado por el Ministerio de Asuntos Económicos de este país. Hasta el año 2000, se había logrado generar un inventario considerable de datos nacionales LCI. Los datos básicos y resultados están disponibles en Internet para el acceso público. Se realizó un foro de ACV organizado por ITRI para

---

---

compartir información, identificar los faltantes, crear un consenso entre los sectores público y privado, y coordinar los esfuerzos de desarrollo del ACV en el país. El ITRI también ha desarrollado un software llamado ACV ‘Do-It-Pro’ para los usuarios domésticos de Taiwán.

### *India*

La Sociedad India para el análisis del Ciclo de Vida (Indian society for life cycle assessment, ISLCA) se creó para desarrollar la capacidad e incrementar el interés por el ACV dentro de la India.

### *Tailandia*

El ACV se introdujo en la industria tailandesa en 1997. La Universidad Chiang Mai (CMU) dirigió el foro de ACV llamado ‘Thai LCA Network’. El primer estudio formal en LCI lo desarrolló el Instituto del Ambiente de Tailandia (Thailand Environment Institute, TEI), en el año 2000, para llevar a cabo el LCI para Redes de Electricidad. Varios LCI y proyectos de ACV se han desarrollado por el Programa de Promoción de Tecnologías más Limpias del Centro Nacional de Tecnología de Metales y Materiales (Cleaning Technology Advancement Program/National Metal and Materials Technology, CTAP/MTEC), en colaboración con varias universidades y el TEI, desde el 2000. En 2005, se estableció el Proyecto Nacional de bases de datos de LCI de Tailandia con el apoyo técnico del Gobierno de japonés a través del Plan de Asociación Verde. El MTEC es la organización central ejecutora de un proyecto de 3 años con el apoyo de varias organizaciones asociadas como la Federación de Industrias de Tailandia (Federation of Thai Industries, FTI), la Institución Petrolera de Tailandia (Petroleum Institute of Thailand, PTIT), el TEI, el Ministerio de la Industria (MOI), el Ministerio de Recursos Naturales y el Ambiente (Ministry of Natural Resources and Environment, MONRE), etc.

### *Otros*

En China, las instituciones y las universidades están realizando investigaciones relacionadas con el ACV, con interés especial en las evaluaciones ambientales de las opciones de recuperación de residuos y sistemas de energía. El proyecto, ‘Investigación sobre Materiales de Ciclo de Vida’, con el apoyo de Programa Nacional de Investigación y Desarrollo, se ha estado desarrollando, también se estableció un Centro Nacional para el ACV. En China se está desarrollando una base de datos nacional. En Malasia se trabaja para obtener datos de LCI de la producción de electricidad. En Vietnam, se está realizando actividad para el ACV en varias universidades; el Gobierno Federal encargó varios estudios de ACV desde 1999. En la Universidad Nacional, en la Ciudad Ho Chi Min; The Open University cuenta con un equipo de trabajo sobre procesos de ACV. Los temas de estudio de caso incluyen sistemas de energía, sistemas de gestión de residuos, y producción de petróleo. Algunos estudios de casos se han llevado a cabo en Singapur; sin embargo, el uso del ACV no se ha extendido aún. El gobierno estableció el Comité de Normas de Gestión Ambiental, que formó un grupo dedicado al ACV, discutiendo todos los aspectos del ACV. Los miembros son del Ministerio del Ambiente, Universidades e Institutos Nacionales de Investigación, así como la industria. Algunos estudios de casos se han llevado a cabo en Indonesia, mediante los talleres nacionales que introduzcan al país el ACV.

### **XI.i.iii Europa**

A medida que creció el interés en el ACV, desde finales de 1980, se han venido desarrollado numerosas bases y fuentes de datos. Hay muchas bases de datos universitarias y de consultoría que caracterizan a

---

determinados sectores industriales y grupos de productos. Estas generalmente son muy diversas y fragmentadas, con un bajo nivel de armonización, debido a los muchos países y actores (industria, investigación, autoridades públicas, etc.) que participan. En países como Alemania, Suecia, y Suiza, que han participado activamente en el desarrollo de datos para LCI, el reto actual es integrar y garantizar la integración y compatibilidad de una amplia variedad de bases de datos de LCI.

### *Alemania*

En 2001 se inició la red alemana de datos del LCI como un esfuerzo conjunto con el gobierno federal, para proporcionar conjuntos de datos de LCI continuamente actualizados y revisados. La Acción Europea en Investigación Concertada ‘Sustainable Materials Technology - Life Cycle Inventories for Environmentally Conscious Manufacturing Processes’, es un marco abierto para la cooperación europea en el ámbito del ACV, con más de doce países europeos participantes. El principal objetivo de esta acción es reducir la brecha entre investigación fundamental en ACV y las necesidades de la industria de un marco operativo y un modelo.

### *Suecia*

Fue en 1996 que se inició el centro de competencia nacional sueca de CPM (Center for Environmental Assessment of Product and Material Systems; Centro de Evaluación Ambiental de Productos y Sistemas de Materiales) y se establece una base de datos de calidad de ACV. La base de datos, llamada SPINE@CPM, fue lanzada al público en 1998, y desde entonces ha estado disponible a través de Internet. Todos los conjuntos de datos publicados a través de la base de datos están bien documentados y han sido revisados manualmente en lo que respecta a la transparencia y comprensión.

### *Suiza*

La actividad Suiza en materia de ACV se intensificó durante la década de 1990, en particular con la obra de referencia sobre datos de LCI de los sistemas de energía, suministro de materiales, transporte y servicios de gestión de residuos. En el año 2000, los principales institutos de investigación en ACV y las Oficinas Federales de Suiza fundaron elecoinvent Centre, el Centro Suizo para Inventarios de Ciclo de Vida, que estableció una base de datos de LCI que abarca materias primas que se utilizan habitualmente en los estudios de ACV. La información transparente es una de las características clave de las base de datos de LCI suizas.

### *Otros*

En los últimos años, varias organizaciones e iniciativas europeas han facilitado el intercambio de información de ACV (por ejemplo, SETAC-Europe, LCHANET, CHAINET, etc.). La SPOLD (Sociedad para la Promoción del Desarrollo de Ciclo de Vida), realizó un primer intento de facilitar el intercambio de datos del ICV; ésta trabajó para desarrollar un formato común para el intercambio de datos del inventario del Ciclo de Vida. A principios de este siglo el formato del EcoSPOLD fue desarrollado a partir del SPOLD 99 y del formato de presentación de datos de la norma ISO/TS 14048. La mayoría de softwares de ACV disponibles en el mercado (en particular CMLCA, EMIS, Gabi, KCL-eco, Regis, SimaPro, TEAM, y Umberto) están en condiciones de importar e incluso de exportar archivos EcoSPOLD. La mayoría de las bases de datos europeas que se han desarrollado sólo están disponibles a través de uno de los muchos programas de software disponibles de ACV (normalmente de cuota), con relativamente pocas bases de datos proporcionadas a escala nacional, a disposición del público.

---

La Comisión Europea, en su Comunicación sobre Política de Producción Integrada, COM (2003) 302, concluyó que los Análisis de Ciclo de Vida proporcionan el mejor marco para evaluar el posible efecto ambiental de los productos actualmente disponibles. En el documento, se destacó la necesidad de datos más coherente y de metodologías de ACV de consenso. Se anuncia, que la Comisión proporcionará una plataforma, (The European Platform of Life Cycle Assessment), para facilitar la comunicación e intercambio de datos del Ciclo de Vida y poner en marcha una iniciativa de coordinación relacionada con los esfuerzos de recolección de datos en curso en la UE y la armonización con iniciativas existentes. La Plataforma ofrecerá una calidad garantizada, información del Ciclo de Vida basada en los productos básicos y servicios, así como metodologías de consenso. El proyecto se inició a mediados de 2005.

### **XI.i.iv América**

#### *Canadá*

El proyecto de bases de datos canadienses de materias primas se inició hace más de 10 años, aunque se hizo disponible al público desde 2001 hasta 2004. La base de datos contiene los datos de inventario del Ciclo de Vida ‘de la cuna a la puerta’ de los materiales de básicos, conforme a lo dispuesto por las asociaciones de la industria y sus contratistas. Los datos reflejan lo más fielmente posible la producción canadiense, excepto que en algunos casos, los datos de Canadá fueron promediados con los datos de producción de los EE. UU., con el fin de proteger la información registrada relativa a los proveedores canadienses. Los materiales incluyen el acero cubierto (EAF e integrados), de aluminio, seis tipos de plásticos, vidrio (reciclado y virgen), papel y madera de coníferas. Los datos estaban disponibles en formato pdf sin costo para el público. El sitio se encuentra conectado, pero no es posible acceder a los datos desde 2004. No se ha determinado si el proyecto continúa.

#### *USA*

En numerosas fuentes en los EE. UU. se encuentran disponibles gran variedad de datos del LCI provenientes del trabajo realizado en diversas universidades y centros de investigación, y por diversos departamentos gubernamentales, consultores y organizaciones industriales. Sin embargo, no fue sino hasta el año 2001, con un proyecto de colaboración para desarrollar una base de datos de LCI que el público de los EE. UU. tuvo a su disposición (más concretamente, la base contiene datos de la cuna a la puerta, de puerta-a-puerta que se pueden utilizar en la realización de un LCI). Este proyecto ha recibido financiamiento para su puesta en marcha de la Administración de Servicios Generales (General Services Administration, GSA) y del Departamento de Energía de EE.UU. (Department of Energy, DoE); la base de datos está organizada por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (National Renewable Energy Laboratory, NREL). Tanto los datos, una guía del usuario, como las guías de desarrollo del proyecto pueden ser descargados desde su página web. En este momento hay 73 módulos de datos en la base de datos del NREL que están disponibles para su descarga.

#### *Latinoamérica*

En América Latina se están realizando gran actividad en materia de ACV. El proyecto para el desarrollo de una base de datos de LCI en Argentina se inició en la Universidad Tecnológica Nacional (Mendoza), pero debido a la situación económica en ese país, no hay financiación para el proyecto. En Chile, se está trabajando para desarrollar datos representativos de las condiciones chilenas de la industria eléctrica.

Armando Caldeira Pires, y su equipo, desarrollan una base de datos, así como un proyecto de América del Sur para desarrollar una base de datos estandarizada de LCI para los metales (aunque México no recibe fondos para este proyecto en el que también participa). Colombia también ha iniciado una base de datos nacional de ICV. México también inició el desarrollo de bases de datos, primero financiado y ayudado por la Agencia de Ciencias Industriales y Tecnología (Agency for Industrial Science and Technology, AIST) de Japón en 2002, para electricidad y metales, y luego continuó con otros sectores importantes, tales como combustibles, sustancias químicas, algunos materiales de construcción y tratamiento de residuos. El Centro Mexicano para el ACV y Diseño Sostenible administra las bases de datos y trabaja junto con el gobierno y la industria para lanzar oficialmente un proyecto que permitirá que la base de datos crezca.

En la Tabla 34 se muestra un panorama general de la distribución de los datos de LCI disponibles. Por otra parte, en la Tabla 35 se enlistan las sociedades y redes existentes de ACV.

**Tabla 34:** Actividad mundial en la producción de datos de LCI.

Nivel de participación	África	APEC	Europa	América	Mundial
Multiorganizacional y/o nacional o multigobierno <sup>1</sup>		Australia, Japón, Corea, Singapur, Taiwán	Dinamarca, Suiza, Suecia	Canadá, EE. UU.	
Consultores e Institutos de Investigación (con datos disponibles) <sup>2</sup>			Dinamarca, Holanda, Noruega, Suiza, Suecia, Alemania, Italia	EE. UU.	Boustead, TEAM, GaBi, SimaPro
Industrial (con datos disponibles) <sup>3</sup>		ISSF	PlasticsEurope (anteriormente APME), FEFCO, ISSF, Volvo, EPD-Norway, EAA	ISSF, APC	IISI, Nickel
Descentralizada (académicos, consultores, etc.) <sup>4</sup>	Egipto, Mauricio, Sudáfrica	China, India, Indonesia, Malasia, Filipinas, Tailandia, Vietnam	Noruega	Brasil, Chile, Colombia, México	

**Fuente:** Curran, et al., 2006.

**NOTA:**

1. Esfuerzo coordinado para producir datos nacionalmente representativos. Por lo general, involucra la colaboración entre varias organizaciones y diversos grados de financiamiento gubernamental.
2. Los inventarios son producidos por organizaciones de investigación o consultores y se encuentran disponibles en una base de datos, en la mayoría de los casos, de manera gratuita.
3. Los inventarios son producidos y publicados bajo el auspicio de una organización industrial en particular. Se incluyen casos en los que los datos están parcialmente disponibles (por ejemplo, mediante cuotas, o únicamente a las partes lo suficientemente interesadas en adquirirlos). De manera más común, los datos son recopilados por los consultores, pero se incluyen casos en donde el LCI es generado por organizaciones académicas o de investigación.
4. Se incluyen inventarios recopilados por organizaciones académicas u otro tipo de organizaciones de investigación, que se encuentran disponibles, ya sea de manera parcial o total, en bases 'ad-hoc' (por ejemplo, a través de publicaciones periódicas). Algunos países pueden tener algún grado de información compartida (por ejemplo, una sociedad de ACV), pero no existe un esfuerzo coordinado en la recolección de datos (por ejemplo, los estudios no están organizados en una base de datos accesible).

La Tabla 36 muestra los proyectos existentes en los Estados Unidos en materia de bases de datos.

En la Tabla 37 se muestra una lista de las principales organizaciones de bases de datos industriales existentes.



Tabla 35: Organizaciones dedicadas a LCI.

Región	Nombre	Contacto	Correo-e	Sitio web
África	Red africana para el ACV (ALCANET)	Toolseeram Ramjeawon	ramjawon@uom.ac.mu	<a href="http://ciclo-obiki.org/net/ALCAN.html">http://ciclo-obiki.org/net/ALCAN.html</a>
América	Centro americano para el ACV (ACLCA)	Rita Schenck	rita@iere.org	<a href="http://www.lcacenter.org">www.lcacenter.org</a>
APEC	Red de Investigadores en ACV para las Economías Integrantes del APEC (APLCANET)	Karli James	karli.james@vu.edu.au auslcanet@rmit.edu.au	<a href="http://unit.aist.go.jp/lca-center/asianetwork/top.htm">http://unit.aist.go.jp/lca-center/asianetwork/top.htm</a> or <a href="http://aplcenet.rmit.edu.au/">http://aplcenet.rmit.edu.au/</a>
Australia	Sociedad Australiana de Análisis de Ciclo de Vida (ALCAS)	Karli James	Karli.James@rmit.edu.au	<a href="http://www.alcas.asn.au">www.alcas.asn.au</a>
Canadá	CIRAIG	Daniel Normandin	daniel.normandin@polymtl.ca	<a href="http://www.polymtl.ca/ciraig/">http://www.polymtl.ca/ciraig/</a>
Dinamarca	Centro Danés para el ACV	Jeppe Frydendal	info@lca-center.dk	<a href="http://www.lca-center.dk">www.lca-center.dk</a>
India	Indian Society of LCA (ISLCA)	Prof. Vinod K. Sharma	vks@igidr.ac.in	<a href="http://members.tripod.com/neef.in/islca.html">members.tripod.com/neef.in/islca.html</a>
Japón	Sociedad de ACV de Japón (JLCA)	Nakano Katsuyuki	nakano@jemai.or.jp	<a href="http://www.jemai.or.jp/lcaforum/">www.jemai.or.jp/lcaforum/</a>
	Centro de Investigación para el ACV	Atsushi Inaba	a-inaba@aist.go.jp	<a href="http://unit.aist.go.jp/lca-center/english/top.htm">http://unit.aist.go.jp/lca-center/english/top.htm</a>
	Instituto del ACV, Japón	Atsushi Inaba	a-inaba@aist.go.jp	<a href="http://ilcaj.sntt.or.jp/">http://ilcaj.sntt.or.jp/</a> (japonés)
Corea	Sociedad Coreana para el ACV (KSLCA)	Tak Hur	takhur@konkuk.ac.kr	kslca.com (coreano)
	Centro de Investigación en ACV (LCARC)	Yong Woo Hwang	hwangyw@inha.ac.kr hwangyw@lcarc.re.kr	<a href="http://www.lcarc.re.kr/English/">http://www.lcarc.re.kr/English/</a>
América Latina	Asociación Latinoamericana para el ACV (ALCALA)	<i>Nydia Suppen</i>	nsuppen@lcamexico.com	<a href="http://www.scientificjournals.com/sj/lca/Pdf/aId/7637">http://www.scientificjournals.com/sj/lca/Pdf/aId/7637</a>
México	Centro Mexicano para el ACV y el Diseño Sostenible	<i>Nydia Suppen</i>	nsuppen@lcamexico.com	<a href="http://www.lcamexico.com">http://www.lcamexico.com</a>
Suecia	Centro de análisis ambiental de sistemas de producción y materiales (CPM)	Peter Lysell	peter.lysell@cpm.chalmers.se	<a href="http://www.cpm.chalmers.se">http://www.cpm.chalmers.se</a>
Filipinas <sup>1</sup>		Raymond Tan	tanr_a@dlsu.edu.ph	
Tailandia	Thai LCA Network	Sate Sampattagul	sate@eng.cmu.or.th	<a href="http://www.thailca.net">http://www.thailca.net</a>

Los nombres en cursiva no son los representantes ‘oficiales’, pero se trata de personas conocidas por estar involucradas en ese país; por ejemplo, por ser el autor de un artículo.

**Fuente:** Curran, et al., 2006.

**NOTA:** <sup>1</sup>. Se adoptaron medidas para establecer una red que involucre a los sectores académico, gobierno y otras organizaciones.

**Tabla 36:** Bases de datos disponibles en los Estados Unidos.

Nombre	Contacto	Correo-e	Sitio web	Disponibilidad	Lenguaje	Datos específicos (si aplica)	Cobertura geográfica	Número de conjuntos de datos
Proyecto Australiano de Datos para Inventario de Ciclo de Vida	Tim Grant	tim.grant@rmit.edu.au	<a href="http://www.cfd.rmit.edu.au/programs/life_cycle_assessment/life_cycle_inventory">http://www.cfd.rmit.edu.au/programs/life_cycle_assessment/life_cycle_inventory</a>	Gratuita	Inglés		Australia	>100
BUWAL 250			<a href="http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/eng/">http://www.umwelt-schweiz.ch/buwal/eng/</a>	Gratuita o incluida en SimaPro	Alemán, inglés, francés	Materiales de embalaje	Suiza	
Base de Datos de Canadá para Materias Primas	Murray Haight	mehaight@fes.uwaterloo.ca	<a href="http://crmd.uwaterloo.ca/">http://crmd.uwaterloo.ca/</a>	Gratuita	Inglés, francés	Materias primas	Canadá	>10
DuboCalc	Joris Broers	j.w.broers@dww.rws.minvenw.nl	<a href="http://www.rws.nl/rws/bwd/home/www/cgi-bin/index.cgi?site=1&amp;doc=1785">http://www.rws.nl/rws/bwd/home/www/cgi-bin/index.cgi?site=1&amp;doc=1785</a>	Por solicitud	Datos de nivel superior en holandés/ datos fundamentales en Inglés	Materiales de construcción	Holanda	>100
Dutch Input Output	Mark Goedkoop	goedkoop@pre.nl	<a href="http://www.pre.nl">www.pre.nl</a>	Licencia gratuita	Inglés	Insumo-producto	Holanda	>100
Ecoinvent	Rolf Frischknecht	frischknecht@ecoinvent.ch	<a href="http://www.ecoinvent.ch">www.ecoinvent.ch</a>	Licencia gratuita	Inglés, japonés, alemán		Mundial/ Europa/ Suiza	>1000
Eco-Quantum					Holandés			
EDIP	Niels Frees	nf@ipu.dk	<a href="http://www.lca-center.dk">www.lca-center.dk</a>	Licencia gratuita	Danés, inglés, alemán		Dinamarca	>100
Franklin US LCI	Mark Goedkoop	goedkoop@pre.nl	<a href="http://www.pre.nl">www.pre.nl</a>	Disponible con SimaPro	Inglés		EE. UU.	>10
Red Alemana de Datos de	Christian Bauer	info@netzwerkebenszyklusdaten.de	<a href="http://www.lci-network.de">www.lci-network.de</a>	En curso	Alemán, inglés		Alemania	

Nombre	Contacto	Correo-e	Sitio web	Disponibilidad	Lenguaje	Datos específicos (si aplica)	Cobertura geográfica	Número de conjuntos de datos
Inventario del Ciclo de Vida								
ITRI Database			<a href="http://www.itri.org.tw">http://www.itri.org.tw</a>		Taiwanés, inglés			
IVAM LCA Data	Harry van Ewijk	<a href="mailto:hvewijk@ivam.uva.nl">hvewijk@ivam.uva.nl</a>	<a href="http://www.ivam.uva.nl">www.ivam.uva.nl</a>	Licencia gratuita	Chino, inglés	Construcción, alimentos, residuos, etc.	Holanda	>1000
Proyecto Nacioinal de ACV	Nakano Katsuyuki	<a href="mailto:nakano@jemai.or.jp">nakano@jemai.or.jp</a>	<a href="http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm">http://www.jemai.or.jp/lcaforum/index.cfm</a> (in Japanese) <a href="http://www.jemai.or.jp/english/lca/project.cfm">http://www.jemai.or.jp/english/lca/project.cfm</a>	Gratuita	Japonés		Japón	>600
Korean LCI	Tak Hur	<a href="mailto:takhur@konkuk.ac.kr">takhur@konkuk.ac.kr</a>	<a href="http://www.kncpc.re.kr">http://www.kncpc.re.kr</a>	En curso				
LCA Food	Per Nielsen	<a href="mailto:pn@ipl.dtu.dk">pn@ipl.dtu.dk</a>	<a href="http://www.lcafood.dk">www.lcafood.dk</a>	Gratuita	Ingles	Productos alimenticios	Dinamarca	
SPINE@CPM	Sandra Häggström	<a href="mailto:sandra.haggstrom@imi.chalmers.se">sandra.haggstrom@imi.chalmers.se</a>	<a href="http://www.globalspine.com">www.globalspine.com</a>	Gratuita	Inglés	-	Mundial	>100
Base de Datos Suiza del Ciclo de Vida (SALCA)	Thomas Nemecek	<a href="mailto:thomas.nemecek@fal.admin.ch">thomas.nemecek@fal.admin.ch</a>	<a href="http://www.reckenholz.ch/doc/en/forsch/control/bilanz/bilanz.html">www.reckenholz.ch/doc/en/forsch/control/bilanz/bilanz.html</a>	Gratuita al contactar	Alemán	Agricultura	Suiza	>100
Proyecto de Base de Datos de LCI de Tailandia	T. (Rut) Mungcharoen	<a href="mailto:thumrong@mtec.or.th">thumrong@mtec.or.th</a>	<a href="http://www.mtec.or.th">www.mtec.or.th</a>		Tailandés, inglés			
Proyecto de Base de Datos de LCI de EE. UU.	Michael Deru	<a href="mailto:michael_deru@nrel.gov">michael_deru@nrel.gov</a>	<a href="http://www.nrel.gov/lci">www.nrel.gov/lci</a>	Gratuita al contactar	Inglés		US	73

**Fuente:** Curran, et al., 2006.

La Tabla 38 proporciona un listado de fuentes de datos disponibles en LCI. También conjunta la presencia mundial de estudiosos en ACV, pero no se mencionan a las bases de datos de LCI existentes.

**Tabla 37:** Organizaciones de bases de datos industriales.

Organización industrial	Contacto	Correo-e	Sitio web	Disponibilidad	Grupo o sector de producción	Cobertura geográfica
Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI)	Bill Heenan o Jim Schultz	Bheenansri@aol.com jschultz@steel.org			Hierro y acero	América
Consejo Americano de Plásticos (APC)	Mike Levy	Michael_Levy@americanchemistry.com			Polímeros	América
EDP-Norway	Bjørn Sveen	Bjorn.Sveen@nho.no	www.epd-norge.no	Gratuita	Negocios noruegos (varios sectores)	Noruega y Europa
Asociación Europea del Aluminio (EAA)		eea@eea.net	www.aluminium.org	Gratuita	Aluminio	Europa
Instituto Europeo del Cobre (ECI)	Ladji Tikana	lcc@kupferinstitut.de	www.copper-life-cycle.org	Gratuita al contactar	Cobre	Europa
Federación Europea de Fabricantes de Cartón (FEFCO) Groupement Ondulé, Asociación Europea de fabricantes de Artículos de Cartón (GEO) Organización Europea de Contenedores de Cartón (ECO)	Angeline de Beaufort	beulang@planet.nl	www.fefco.org	Gratuita	Cartón	Europa
Instituto Internacional de Hierro y Acero (IISI)	Lionel Aboussouan	aboussouan@iisi.be	www.worldsteel.org	Gratuita al contactar	Acero	Mundial
Foro Internacional de Acero Inoxidable (ISSF)	Staffan Malm	malm@iisi.be	www.worldstainless.org/	Gratuita al contactar	Acero Inoxidable	Mundial
KCL (EcoData)	Catharina Hohenthal-Joutsimo	Catharina.hohenthal-joutsimo@kcl.fi	http://www.kcl.fi/eco	Gratuita	Pulpa y papel	Finlandés/ Noruego
Instituto del Níquel	Bruce McKean	BMcKean@nickelinstitute.org	http://www.nickelinstitute.org/index.cfm/ci_id/114.htm	Gratuita al contactar	Níquel	Mundial
Plastics Europe (formerly APME)	Plastics Europe	info@plasticseurope.org	www.plasticseurope.org	Gratuita	Plásticos	Europa

Organización industrial	Contacto	Correo-e	Sitio web	Disponibilidad	Grupo o sector de producción	Cobertura geográfica
Volvo EPDs			<a href="http://www.volvo.com/group/global/en-gb/Volvo+Group/ourvalues/environmentalcare/products/products.htm">http://www.volvo.com/group/global/en-gb/Volvo+Group/ourvalues/environmentalcare/products/products.htm</a>	Gratuita	Camiones y autobuses	Europa

**Fuente:** Curran, et al., 2006.

**Tabla 38:** Otras fuentes de datos de LCI<sup>1</sup>.

Proveedor de datos (nombre de la institución)	Tipo de proveedor de datos	Contacto	Correo-e	Sitio web	Cobertura geográfica	# de conjuntos de datos
Grupo de Prevención de la Contaminación (GP2), Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Sao Paulo	Academia	Gil Anderi da Silva	<a href="mailto:ganderis@usp.br">ganderis@usp.br</a>		Brasil	>10
Fundación Østfold	Instituto de Investigación	Cecilia Askham Nyland	<a href="mailto:cecilia@sto.no">cecilia@sto.no</a>	<a href="http://www.sto.no">www.sto.no</a>	Noruega y Europa	>100
SINTEF Byggeforsk (Edificio del Instituto Noruego de Investigación)	Research Institute	Sverre Fossdal	<a href="mailto:Sverre.fossdal@byggforsk.no">Sverre.fossdal@byggforsk.no</a>	<a href="http://www.byggforsk.no/default.aspx?spraak=en">http://www.byggforsk.no/default.aspx?spraak=en</a>	Noruega	

**Fuente:** Curran, et al., 2006.

**NOTA:** 1. La tabla muestra los datos de LCI disponibles de proveedores, pero que no están en una base de datos bien organizada y distribuida (como los de la Tabla 37). También incluye a los proveedores de datos que respondieron a una ‘convocatoria’ emitida por administradores de la Iniciativa del Ciclo de Vida del PNUMA/SETAC.

---

---

## **XI.ii. Tipos de Software disponibles (gratuitos y comerciales)**

A continuación se presentan algunos tipos de software y bases de datos, registrados en el sitio de la EPA (<http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/resources.html#Software>), de mayor uso en el mundo.

**EPA Software:** Herramienta para la reducción y Evaluación de la Química y otros Impactos Ambientales (TRACI, por sus siglas en inglés), generada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. TRACI permite examinar los posibles efectos asociados al uso de materias primas y de emisiones de sustancias químicas como resultado de los procesos involucrados en la fabricación de un producto. Todo el software y guía del usuario se puede descargar desde la página web <http://www.epa.gov/nrmrl/std/sab/traci/>.

**Asociación de Fabricantes de Plásticos en Europa, APME:** APME, por sus siglas en inglés, publica datos anuales sobre el consumo y la recuperación de los plásticos utilizados en los principales sectores de aplicación: envasado, construcción, automotriz y eléctricos y electrónicos, <http://www.plasticseurope.org/plastics-sustainability/life-cycle-thinking.aspx>.

**Estimador de Impacto Ambiental:** Creado por el Instituto ATHENA™ de Materiales Sustentables. Arquitectos, ingenieros e investigadores pueden obtener de la evaluación del Ciclo de Vida (ACV), respuesta para los diseños conceptuales acerca de los nuevos edificios o renovación de edificios existentes, a partir de esta herramienta. El Estimador permite evaluar las consecuencias ambientales de actividades industriales, oficinas institucionales, y del diseño de unidades residenciales tanto multi como unifamiliares. Puede ser útil para distinguir entre las casas propias y las alquiladas. El Estimador pone al ambiente en igualdad de circunstancias con los demás criterios de diseño más tradicionales, en la etapa de diseño conceptual de un proyecto de construcción. El Estimador incorpora a la bases de datos del inventario de Ciclo de Vida del Instituto, con más de 90 materiales estructurales y de recubrimiento. Simula más de 1,000 diferentes combinaciones de ensamblaje. En el sitio web se puede tener acceso a la información, <http://www.athenasmi.org/tools/impactEstimator/index.html>.

**BEES 3.0:** Del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) Laboratorio de Investigación de la Construcción y de Incendios. El software BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability) puede ser utilizado para equilibrar el desempeño ambiental y económico de los productos de construcción. La versión 3.0 del software de decisiones basado en Windows™, está dirigido a diseñadores, constructores y fabricantes de productos, incluye datos reales de rendimiento ambiental y económico para 65 productos de la construcción. El BEES 3.0 puede descargarse desde el enlace del sitio web <http://www.bfrl.nist.gov/oe/software/bees/>.

**Modelo Boustead 5.0:** Es elaborado por la Consultoría Boustead. Se trata de una extensa base de datos que almacena información sobre el uso de combustibles y energía, las necesidades de materias primas, así como la manera en la que son almacenadas las emisiones sólidas, líquidas y gaseosas. También incluye un software que permite al usuario manipular los datos en la base de datos y seleccionar un método de presentación de datos adecuados a partir de una serie de opciones. El modelo se encuentra disponible en: <http://www.boustead-consulting.co.uk/products.htm>.

---

**CMLCA:** Creado por el Centro de Ciencias Ambientales y el CML de la Universidad de Leiden. La Cadena de Gestión del Ciclo de Vida (CMLCA, por sus siglas en inglés) es una herramienta de software que se destina a apoyar las medidas técnicas del procedimiento de ACV. El programa puede ser descargado desde el enlace <http://www.cmlca.eu/>.

**Eco-Indicador 99:** Elaborado por PRé-Consultants. Eco-Indicador 99 es un método de evaluación del impacto de un ‘daño orientado’ con pasos claros y detallados, tales como el destino, la exposición, efecto y análisis de daños. Se puede descargar un informe que contenga una descripción completa de la metodología, así como una visión general de todos los factores dañinos (caracterización), desde el sitio <http://www.pre.nl/eco-indicator99/default.htm>.

**The ecoinvent Centre:** El Centro Suizo para Inventarios de Ciclo de Vida concentra la base de datos de LCI y datos de los métodos de evaluación del impacto del Ciclo de Vida (LCIA). Se encuentran disponibles en el sitio <http://www.ecoinvent.com/>.

**ECO-it 1.3:** De PRé Consultants; contiene más de 200 calificaciones del Eco-indicador 99 para materiales de uso común, como metales, plásticos, papel, cartón y vidrio, así como de los procesos de producción, transporte, energía y de tratamiento de residuos. Esta herramienta calcula la carga ambiental de un producto y muestra las partes del producto que más contribuyen a ésta. Una versión demo se puede descargar en <http://www.pre.nl/eco-it/default.htm>.

**EcoScan 3.0:** Creado por Tecnología Industrial TNO. La herramienta analiza el efecto y el costo ambiental de los productos. La herramienta puede ser utilizada por los gestores e ingenieros que utilizan el EcoDesign en el desarrollo real de la vida del producto. Se puede descargar una versión demo desde <http://www.tno.nl/index.cfm?Taal=2>.

**Evaluación económica del Ciclo de Vida de insumo-producto:** La elabora la Iniciativa Green Design de Carnegie Mellon. Este sitio web le permite estimar el impacto ambiental global de la producción de cierta cantidad de dinero de 500 productos o servicios cualesquiera en los Estados Unidos. Proveerá orientación aproximada sobre los efectos relativos de los diferentes tipos de productos, materiales, servicios o industrias con respecto a la utilización de los recursos y las emisiones en todos los EE.UU.

**EDIP PC** (<http://www.mst.dk/activi/08030000.htm>): Aplicación de la EPA danesa; fácil de usar en Windows y con bases de datos que soportan el proceso del ACV realizado según el método EDIP. Para llevar a cabo un ACV, es necesario contar con información detallada de todos los procesos y los materiales incluidos en el Ciclo de Vida del producto. Es por ello que la herramienta ha sido equipada con una base de datos cercana a la estructura de las bases de datos internacionalmente reconocidas, como el formato SPOLD.

**Estimador de impacto ambiental:** Generado por el Instituto de Materiales Sustentables, ATHENA™. Arquitectos, ingenieros e investigadores pueden obtener de esta herramienta, a partir de la evaluación del Ciclo de Vida (ACV), respuestas sobre los estudios de concepción de nuevos edificios o de la renovación de edificios existentes. El Estimador le permite evaluar las consecuencias ambientales de las actividades industriales, de oficinas institucionales, así como del diseño de unidades uni y multifamiliares. En su caso,

---

también se distingue entre las instalaciones ocupadas por sus propietarios y las de alquiler. El Estimador da la misma prioridad al ambiente que a otros criterios de diseño más tradicional, durante la etapa de diseño conceptual de un proyecto de construcción. También incorpora a la bases de datos del inventario del ciclo vida del instituto, que abarca más de 90 materiales estructurales y de recubrimiento. Se simula más de 1,000 combinaciones de montaje diferentes. En la página <http://www.athenasmi.ca/tools/impactEstimator/index.html> se puede consultar el estimador.

**EPS 2000 Design System:** Creado por la Ecoestrategia Escandinava de Evaluación AB. La EPS (Estrategia Ambiental Prioritaria) es un software de evaluación de impacto de Ciclo de Vida para el desarrollo de productos sostenibles. La versión demo se puede pedir desde el enlace del sitio <http://www.assess.se/>.

**Software y base de datos GaBi 4:** Creados por PE Europe GmbH y la Universidad de IKP de Stuttgart. Hay varias versiones disponibles para uso académico y profesional de Análisis de Ciclo de Vida para evaluar el Ciclo de Vida ambiental, los costos ambientales, sociales y perfiles de productos, procesos y tecnologías. Contiene bases de datos integrales GaBi con cobertura a nivel mundial así como los datos Ecoinvent. Está disponible en <http://www.gabi-software.com/index.php?id=85&L=6&redirect=1>.

**GEMIS (Sistemas Integrados de Modelos Mundiales de Emisiones):** Generado por el Öko-Institut. GEMIS es un programa de Análisis de Ciclo de Vida y base de datos para la energía, materiales y sistemas de transporte. La base de datos GEMIS ofrece información sobre combustibles fósiles, energías renovables, procesos de generación de electricidad y calor, las materias primas, y transportes. La base de datos GEMIS puede ser descargada gratuitamente desde <http://www.oeko.de/service/gemis/>.

**Modelo GREET:** El Departamento de Energía de la Oficina de Transporte de Tecnologías del ciclo de combustible de los EE.UU., llamado GREET (emisiones de gases de efecto invernadero, reguladas, y uso de energía en el transporte). Permite a los investigadores evaluar varias combinaciones de motores y combustible sobre un ciclo de combustible constante.

**IDEMAT 2005:** Creado por la Universidad Tecnológica de Delft. Es una herramienta para la selección de materiales en el proceso de diseño. Proporciona una base de datos con información técnica sobre materiales, procesos y componentes y permite al usuario comparar la información.

**IVAM LCA Data 4.0:** Elaborado por el IVAM. La base de datos IVAM de Investigación Ambiental se utilizará para la evaluación ambiental del Ciclo de Vida (ACV). Se compone de alrededor de 1,000 los procesos y más de 300 materiales. Los datos pueden ser utilizados para aplicaciones de ACV en diversos sectores. Está disponible en <http://www.ivam.uva.nl/?258&L=1>.

**KCL-ECO 4.0:** Con el KCL-ECO se puede realizar ACV a sistemas complicados con muchos módulos y flujos. Se incluye la asignación, evaluación del impacto (caracterización, normalización y ponderación), y las características gráficas. El demo se encuentra disponible en <http://www1.kcl.fi/eco/softw.html>.



---

**LCAit 4:** Creado por CIT Ekologik. Desde 1992, el LCAit se utiliza para la evaluación ambiental de productos y procesos. Incluye una base de datos para la evaluación de impacto, incluyendo factores de caracterización y factores de ponderación.

**LCAPIX:** Elaborado por KM limitada. El software LCAPIX combina ACV y Activity Based Costing (ABC) para ayudar a las empresas a asegurar el cumplimiento ambiental sin dejar de asegurar una rentabilidad sostenida. Lo, permite una medición cuantitativa que puede indicar la carga potencial de cualquier producto. Puede consultarse en <http://www.kmlmtd.com/index.html>.

**Base de Datos de Inventario de Ciclo de Vida:** A cargo del Laboratorio Nacional de Energía Renovable. Esta base de datos es pública y contiene módulos de datos para los materiales y procesos más comúnmente utilizados, tales como la producción de combustibles primarios, la generación de electricidad y el proceso de transmisión. Está disponible en <http://www.nrel.gov/lci/>.

**MIET 3.0:** Herramienta de Estimación de Inventarios faltantes. Elaborado por el Centro de Ciencias Ambientales (CML). MIET es una hoja de cálculo de Microsoft Excel que permite a los profesionales de ACV estimar el inventario de Ciclo de Vida (LCI) de las corrientes que presentan vacíos de información. Se basa en la información más actualizada de matrices insumo-producto de los EE.UU. y en datos del ambiente. MIET cubre cerca de 1,200 diferentes intervenciones ambientales incluyendo las emisiones al aire, agua, suelo industrial y agrícola y el uso de recursos de diversos sectores industriales. El MIET se puede descargar en <http://cml.leiden.edu/software/>, previo llenado de un breve cuestionario.

**REGIS:** De Sinum, es un software para ecobalances empresariales y mejora del desempeño ambiental de las empresas de acuerdo con la ISO 14031. El demo está disponible en <http://www.sinum.com/en/products/software/>.

**SimaPro:** Elaborado por PRé Consultants. Es un software profesional para el ACV que contiene varios métodos de evaluación de impacto, así como bases de datos de inventario, que puede ser editado y ampliado, sin limitaciones. Se pueden comparar y analizar los productos complejos, con ciclos de vida complejos. Una versión demo se puede descargar desde el enlace del sitio web antes mencionado, en la página <http://www.pre.nl/simapro/default.htm>, se puede descargar una versión de prueba.

**SPINE@CPM:** Es de CPM. En el Centro de Competencia para la Evaluación Ambiental de Sistemas de Producción y Materiales de la Universidad Tecnológica de Chalmers. Esta base de datos contiene información detallada sobre todos los tipos de transportes de mercancías, producción de energía, la producción de determinados materiales y alternativas de gestión de residuos. La base de datos se puede acceder en <http://www.globalspine.com/>.

**SPOLD Data Exchange Software:** De la Sociedad para la Promoción de la Evaluación del Ciclo de Vida. Este software se utiliza para crear, editar, importar y exportar datos en formato spold '99. Está disponible en <http://www.ecoinvent.org/ecoinvent-v3/ecospold-v2/>.

---

**TEAM™:** Generado por Pricewaterhouse Coopers Ecobilan Group. TEAM™ es una herramienta para la evaluación ambiental del Ciclo de Vida y el perfil de costos de los productos y tecnologías. Contiene una amplia base de datos de más de 600 módulos con cobertura en todo el mundo. Se encuentra disponible en el sitio web [https://www.ecobilan.com/uk\\_team.php](https://www.ecobilan.com/uk_team.php).

**Umberto:** Del Instituto de Informática Ambiental, en Hamburgo. Sirve para visualizar los sistemas de flujo de materia y energía. Los datos se toman de los sistemas de información externa o se modelan y calculan al momento de realizar el estudio. La liga para la página web es: <http://www.umberto.de/en/index.htm>.

**WISARD™:** Creado por el Pricewaterhouse Coopers Ecobilan Group. El WISARD (Waste - Integrated Systems Assessment for Recovery and Disposal) es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones y la evaluación de opciones de política relativas a la eliminación de los residuos domésticos. Está disponible en [https://www.ecobilan.com/uk\\_wisard.php](https://www.ecobilan.com/uk_wisard.php).

La Tabla 39 proporciona un listado de software especializados en ACV, que suelen ser la principal forma de acceso a las bases de datos de LCI.

**Tabla 39:** Tipos de software de ACV de mayor uso en el mundo.

Nombre	Contacto	Correo-e	Sitio web	Disponibilidad	Idioma	Datos específicos (si aplica)	Cobertura geográfica	Número de conjuntos de datos
BEES 3.0	Barbara Lippiatt	blippiatt@nist.gov	<a href="http://www.bfrl.nist.gov/oe/software/bees.html">http://www.bfrl.nist.gov/oe/software/bees.html</a>	Gratuita al contacto	Inglés	Materiales y productos de la construcción	USA	200
Boustead Model 5.0			<a href="http://www.boustead-consulting.co.uk/products.htm">http://www.boustead-consulting.co.uk/products.htm</a>	Licencia gratuita	Inglés		Mundial	
CMLCA 4.2	Reinout Heijungs	heijungs@cml.leidenuniv.nl	<a href="http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/software/cmlca/index.html">http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/software/cmlca/index.html</a>	Licencia gratuita solamente para uso comercial	Inglés		Europa	
eiolca.net	H. Scott Matthews	hsm@cmu.edu	<a href="http://www.eiolca.net">www.eiolca.net</a>	Gratuita	Inglés	Insumo-Producto	USA	>100
EMIS	Fredy Dinkel	f.dinkel@carbotech.ch	<a href="http://www.carbotech.ch">www.carbotech.ch</a>	Licencia gratuita	Inglés, alemán		Mundial	>1000
Environmental Impact Estimator	Wayne B. Trusty	wayne.trusty@athenasmi.ca	<a href="http://www.athenasmi.ca/tools/">http://www.athenasmi.ca/tools/</a>	Licencia gratuita	Inglés	Materiales y productos de la construcción	USA, Canadá	>10
GaBi	Daniel Coen	d.coen@pe-europe.com	<a href="http://www.gabi-software.com/">http://www.gabi-software.com/</a>	Licencia gratuita	Inglés, alemán, japonés		Mundial	>1500
GEMIS			<a href="http://www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm">http://www.oeko.de/service/gemis/en/index.htm</a>		Inglés, alemán		Europa	
GREET 1.7	Michael Wang	mqwang@anl.gov	<a href="http://www.transportation.anl.gov/software/GREET/index.html">http://www.transportation.anl.gov/software/GREET/index.html</a>	Gratuita	Inglés	Sector transporte, sector energía	USA	>20
IDEMAT 2005		idemat@io.tudelft.nl	<a href="http://www.io.tudelft.nl/research/dfs/idemat/index.htm">http://www.io.tudelft.nl/research/dfs/idemat/index.htm</a>	Licencia gratuita	Inglés	Ingeniería	Holanda	>100
KCL-ECO 4.0	Catharina Hohenthal-Joutsimo	Catharina.hohenthal-joutsimo@kcl.fi	<a href="http://www.kcl.fi/eco">http://www.kcl.fi/eco</a>	Licencia gratuita	Inglés		Mundial	
LCAiT	Lisa Hallberg	lisa.hallberg@cit.chalmers.se	<a href="http://www.lcait.com/">http://www.lcait.com/</a>	Licencia gratuita	Inglés			

Nombre	Contacto	Correo-e	Sitio web	Disponibilidad	Idioma	Datos específicos (si aplica)	Cobertura geográfica	Número de conjuntos de datos
MIET			<a href="http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/software/miet/index.html">http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/software/miet/index.html</a>					
AIST-LCA (JEMAI-LCA)	Kiyotaka Tahara	k.tahara@aist.go.jp	<a href="http://unit.aist.go.jp/lca-center/english/theme.html">http://unit.aist.go.jp/lca-center/english/theme.html</a>	Licencia gratuita para JEMAI	Japonés		Japón	>500
Regis	Martin Kilga	martin.kilga@sinum.com	www.sinum.com	Licencia gratuita	Inglés, alemán, japonés		Mundial	
Simapro	Mark Goedkoop	goedkoop@pre.nl	www.pre.nl	Licencia gratuita	Inglés, japonés		Mundial	>1000*
TEAM			<a href="http://www.ecobalance.com/uk_team.php">http://www.ecobalance.com/uk_team.php</a>				Global	
Umberto	Jan Hedemann	j.hedemann@ifu.com	www.umberto.de	Licencia gratuita	Inglés, alemán, japonés		Europa	*

**Fuente:** Curran, et al., 2006.

\* Se encuentran disponibles, por un cargo adicional, conjuntos adicionales de datos (por ejemplo, en un formato compatible).