



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN ECONOMÍA**

**POLÍTICAS PÚBLICAS QUE INCENTIVEN EL USO DE LA  
ENERGÍA EÓLICA Y EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA  
MANUFACTURERA EOLOELÉCTRICA EN MÉXICO**

**T E S I S**

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN ECONOMÍA**

**PRESENTA:  
MÓNICA SANTILLÁN VERA**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. ÁNGEL DE LA VEGA NAVARRO**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECONOMÍA**

**MÉXICO, D.F., MARZO 2014**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## ***Agradecimientos***

Al Dr. Ángel de la Vega Navarro por su asesoría en este trabajo, sin la cual no habría sido posible la culminación del mismo.

A mis padres, hermanos y sobrinas, por su apoyo incondicional en ésta y todas mis actividades.

A los amigos de hace años y a los que tuve la fortuna de conocer en este trayecto, todos sin duda parte de la historia que me alentó hasta aquí.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada que hizo posible el curso de mis estudios de maestría.

# ÍNDICE GENERAL

<b><u>Introducción General</u></b>	1
<u>Hipótesis</u>	3
<u>Objetivos</u>	4
<u>Estructura de la tesis</u>	5
<b><u>Capítulo I. Generación de energía eléctrica en México y panorama general de la energía eólica</u></b>	
1.1 Introducción	7
1.2 Características del sector eléctrico mexicano actual	7
1.3 La situación de los hidrocarburos	11
1.4 El problema ambiental	14
1.5 Tendencias del sector eléctrico mexicano	17
1.6 La energía eólica	19
1.6.1 Las energías alternativas y la energía eólica	20
1.6.2 Consideraciones ambientales del uso de la energía eólica	24
1.6.3 Costos de generación eléctrica a partir de energía eólica	27
1.7 Conclusión	34
<b><u>Capítulo II. Uso y fomento de la energía eólica en México</u></b>	
2.1 Introducción	37
2.2 El potencial eólico en México	37
2.3 Marco legal para el aprovechamiento de la energía eólica en México	39
2.3.1 La reforma a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)	39
2.3.2 La reforma agraria de 1992	44
2.3.3 Los esquemas de financiamiento	46
2.3.4 Los financiamientos internacionales	50
2.3.5 La Ley para el Aprovechamiento de Energías	53

Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE)	
2.3.6 Interconexión a la red	55
2.3.7 Temporada abierta	56
2.3.8 Incentivos a la inversión	57
2.4 El aprovechamiento de la energía eólica en México	58
2.5 Propuestas para incentivar el aprovechamiento de la energía eólica en México	62
2.5.1 Externalidades	63
2.5.2 Cálculo e internalización de las externalidades	65
2.5.3 Matriz energética óptima 2012 (considerando externalidades)	68
2.5.4 Incremento de la capacidad instalada en las plantas eoloeléctricas	70
2.5.5 Matriz energética óptima 2026 (considerando externalidades)	72
2.5.6 Impuestos a las emisiones	75
2.5.7 ¿Por qué no, regulaciones o subsidios?	78
2.5.8 El destino de la recaudación de los impuestos	81
2.5.9 Conciliar intereses con respecto a la renta de la tierra	82
2.6 Conclusión	86
<b>Capítulo III. La energía eólica conectada a la industria manufacturera y al crecimiento económico del país</b>	
3.1 Introducción	89
3.2 Relación entre energía eólica, industria manufacturera y crecimiento económico	89
3.2.1 La evidencia empírica internacional	91
3.2.2 Una posible explicación teórica	93
3.2.2.1 Determinantes del cambio tecnológico	95
3.2.2.2 Política industrial	104

3.3 El escenario en México	105
3.3.1 Manufactura de aerogeneradores en México	109
3.3.2 Políticas públicas para las manufacturas eólicas en México	114
3.3.2.1 Política industrial	115
3.3.2.2 Política comercial	120
3.4 ¿Qué hace falta?	122
3.4.1 Factores limitantes	122
3.4.2 Propuestas para incentivar a la industria de las manufacturas eólicas en México	127
3.5 Conclusión	131
<b>Conclusiones generales</b>	133
<b>Anexo 1</b>	137
<b>Anexo 2</b>	142
<b>Referencias</b>	146

# ÍNDICE DE CUADROS

## Del Capítulo I

- Cuadro 1.1:** Capacidad Efectiva de Generación y Generación Bruta de Electricidad. Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012. 9
- Cuadro 1.2:** Características del mercado de energía eléctrica. Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012. 10
- Cuadro 1.3:** Producción de petróleo crudo y gas natural en México, 2000-2012. 13
- Cuadro 1.4:** Principales productores de energía eléctrica con combustibles derivados del petróleo y gas natural, 2011. 14
- Cuadro 1.5:** Costos de generación eléctrica por tipo de tecnología, 2012 33

## Del Capítulo II

- Cuadro 2.1:** Centrales eólicas instaladas para abastecer energía eléctrica para la prestación de servicio público. 59
- Cuadro 2.2:** Permisos de generación de energía eléctrica con base en energía eólica administrados al 31 de marzo de 2013. 60
- Cuadro 2.3:** Cálculos del valor monetario de las externalidades asociadas a la generación de electricidad. Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012. 67
- Cuadro 2.4:** Comparación Generación Eléctrica 2012 y Escenario 1. Servicio Público de Energía Eléctrica. 70
- Cuadro 2.5:** Costos de oportunidad de la generación máxima. Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012. 71
- Cuadro 2.6:** Comparación Generación Eléctrica Escenario 1 y Escenario 2. Servicio Público de Energía Eléctrica. 74

## Del Capítulo III

- Cuadro 3.1:** Principales empresas de manufactura eólica 2011 y 2012. 93

<b>Cuadro 3.2:</b> Exportaciones e importaciones de manufacturas eólicas en México, 2010.	114
<b>Cuadro 3.3:</b> Montos de apoyo del Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación.	120
<b>Cuadro 3.4:</b> Gasto en I+D como proporción del PIB.	123
<b>Del Anexo 1:</b>	
<b>Cuadro A1.1:</b> Generación máxima posible por tecnología. Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012.	139
<b>Cuadro A1.2:</b> Generación Bruta de Electricidad. Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012.	139
<b>Cuadro A1.3:</b> Costos totales de generación. Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012.	140
<b>Del Anexo 2:</b>	
<b>Cuadro A2.1:</b> Generación máxima posible por tecnología. Servicio Público de Energía Eléctrica, 2026.	144

# ÍNDICE DE GRÁFICAS

## Del Capítulo I

<b>Gráfica 1.1:</b> Variación ventas de electricidad y PIB en México, 2001-2011.	11
<b>Gráfica 1.2:</b> Reservas de hidrocarburos en México, 2000-2010	12
<b>Gráfica 1.3:</b> Estructura de las emisiones de CO <sub>2</sub> asociadas al consumo de combustibles por sector en México, 2011.	15
<b>Gráfica 1.4:</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> en México, 1971-2009.	16
<b>Gráfica 1.5:</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> por kWh en México, 2009.	16
<b>Gráfica 1.6:</b> Capacidad Efectiva de Generación Eléctrica en México, 2002-2012.	18
<b>Gráfica 1.7:</b> Generación Bruta de Electricidad en México, 2002-2012.	18
<b>Gráfica 1.8:</b> Capacidad instalada eólica mundial, 1996-2012.	22
<b>Gráfica 1.9:</b> Costo nivelado de la energía eólica en tierra y mar adentro, 2009.	30
<b>Gráfica 1.10:</b> Costo nivelado de la electricidad para las tecnologías de energía renovable disponibles en el mercado, 2009.	31

## Del Capítulo II

<b>Gráfica 2.1:</b> Externalidades.	64
<b>Gráfica 2.2:</b> Integración porcentual de la matriz energética. Escenario 1 y Escenario 2.	75
<b>Gráfica 2.3:</b> El impuesto eficiente a las emisiones.	77

## Del Capítulo III

<b>Gráfica 3.1:</b> Gasto en I+D como proporción del PIB.	123
<b>Gráfica 3.2:</b> Composición del gasto en I+D por sector de financiamiento. México, 2011.	126

## **SIGLAS Y ACRÓNIMOS DE INSTITUCIONES Y DE CONCEPTOS**

ACV	Análisis de Ciclo de Vida
AMDEE	Asociación Mexicana de Energía Eólica
BANCOMEXT	Banco Nacional de Comercio Exterior, S.N.C.
BANOBRAS	Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C.
CAT	Construir, Arrendar, Transferir
CEMIEs	Centros Mexicanos de Innovación en Energía
CERTE	Centro Regional de Tecnología Eólica
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CI	Centros de Investigación
CIATEQ	Centro de Tecnología Avanzada
CRE	Comisión Reguladora de Energía
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
COPAR	Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión del Sector Eléctrico
DOF	Diario Oficial de la Federación
FSIME	Fondo Sectorial para la Industria de las Manufacturas Eólicas
GEF	Global Environment Fund (Fondo para el Medio Ambiente Global)
GEI	Gases de efecto invernadero
I+D	Investigación y Desarrollo

IDTI	Investigación, desarrollo tecnológico e innovación
IEA	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
IEE	Instituto de Investigaciones Eléctricas
IES	Instituciones de Educación Superior
IVA	Impuesto al Valor Agregado
IMMEX	Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicio de Exportación
INNOVAPYME	Innovación tecnológica para las micro, pequeñas y medianas empresas
INNOVATEC	Innovación tecnológica para las grandes empresas
IPCC	Intergubernamental Panel of Climate Change (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático)
LAERFTE	Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética
LSPEE	Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
MEM	Máquina Eólica Mexicana
NAFINSA	Nacional Financiera, S.N.C.
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries (Organización de los Países Exportadores de Petróleo)
OPF	Obra Pública Financiada
PIB	Producto Interno Bruto
PIDIREGAS	Proyectos de Infraestructura Productiva de Impacto Diferido

en el Programa de Gasto ó Proyectos de Infraestructura Productiva de Largo Plazo

PIE	Productores Independientes de Energía
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
POISE	Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico
PROINNOVA	Proyectos en red orientados a la innovación
PwC	Price Waterhouse Cooper
RLAERFTE	Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética
RLSPEE	Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica
SE	Secretaría de Economía
SENER	Secretaría de Energía
SEMARNAT	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SSA	Secretaría de Salud
UE	Unión Europea

## SIGNOS Y SÍMBOLOS

CH <sub>4</sub>	Metano
CO <sub>2</sub>	Bióxido de carbono
CO <sub>2</sub> /kWh	Bióxido de carbono por kilowatt-hora
CO <sub>2</sub> eq/kWh	Bióxido de carbono equivalente por kilowatt-hora
¢/kWh	Centavos por kilowatt-hora
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt-hora
km/hr	Kilómetros por hora
kV	Kilovoltio
kWh	Kilowatt-hora
Mbd	Miles de barriles diarios
MMbpce	Millones de barriles de petróleo crudo equivalente
Mmpcd	Millones de pies cúbicos diarios
MM \$	Millones de pesos
M US\$	Miles de dólares
M US\$/GWh	Miles de dólares por gigawatt-hora
MM US\$	Millones de dólares
Mt	Millones de toneladas
MW	Megawatt

N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
NA	No Aplica
t	Toneladas
t/GWh	Toneladas por gigawatt-hora
TW	Terawatt
TWh	Terawatt-hora
US\$/GWh	Dólares por gigawatt-hora
US\$/MWh	Dólares por megawatt-hora
US\$/t CO <sub>2</sub>	Dólares por tonelada de bióxido de carbono

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La producción de energía eléctrica es uno de los inventos que ha transformado drásticamente la vida de la humanidad. Los usos finales de dicha energía están encaminados a hacer funcionar luz eléctrica, aparatos en hospitales y clínicas, maquinaria industrial, electrodomésticos, dispositivos de información y comunicaciones y un sinnúmero de aplicaciones más. Por lo tanto, es absurdo imaginar nuestra vida moderna sin electricidad, pues el alcance de los usos de ésta nos hace depender de ella cada vez más en casi todos los ámbitos, presentando de tal forma tendencias de demanda y de consumo crecientes.

Hoy en día la mayor parte de la energía eléctrica que se produce en nuestro país se hace a través de combustibles fósiles. Al respecto, en las últimas décadas han resaltado dos graves problemas: 1) el gas, el petróleo y el carbón que se utilizan son recursos finitos y; 2) el proceso de generación eléctrica con dichos combustibles tiene un alto impacto negativo sobre el medio ambiente, especialmente por la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), identificados como los principales causantes del cambio climático global.

El panorama descrito, obliga a los encargados de suministrar energía eléctrica a buscar opciones capaces de satisfacer la demanda de los consumidores y al mismo tiempo, de contribuir a la conservación ambiental. El aprovechamiento de recursos renovables, tales como la energía solar, la energía eólica, la energía geotérmica, entre otros, se presenta como una alternativa para ampliar y diversificar la producción de electricidad, evitar la extinción de los recursos fósiles y generar energía eléctrica “limpia”. La energía eólica es una de las energías renovables que ha mostrado mayor expansión en los últimos años, ya que además de ser una alternativa ambientalmente más amigable, ha evolucionado de tal forma que se ha vuelto económicamente más competitiva.

México, con un elevado potencial eólico confirmado, ha comenzado a explotar el recurso y hoy en día, la producción eoloelectrónica representa un segmento pequeño, pero velozmente creciente, en el que intervienen diversos actores,

provistos de algunos incentivos que buscan el crecimiento del uso de las fuentes renovables. Sin embargo, la eólica enfrenta fuertes retos para poder expandir su producción, pues ésta es aún un mínimo porcentaje de la producción eléctrica total.

En la actualidad, el Estado elige generar electricidad con las fuentes energéticas que resulten más baratas, poniendo en desventaja a fuentes como la eólica, sin valorar los daños ambientales que el uso de ésta podría evitar. La inclusión de los costos ambientales dentro de los costos de la generación eléctrica es un fuerte desafío para el sector, el cual por una parte se muestra preocupado por los aspectos medioambientales, pero por otra también interesado en ampliar su producción y minimizar sus costos. Frente a estas disyuntivas, la intervención estatal se vuelve indispensable para poder impulsar cambios que mejoren la operación del sector eléctrico sin descuidar el medio ambiente, tales como impulsar el aprovechamiento de la energía eólica en la producción de electricidad.

Con el crecimiento del uso de la eólica para generar electricidad, es posible además, crear cadenas de valor que fomenten el crecimiento económico. Sin embargo, actualmente en el país, empresas extranjeras se apoderaron de casi toda la actividad industrial relacionada y la participación activa de México ha sido prácticamente imperceptible. Nuestro país actúa como proveedor del territorio y del viento para la industria eoloeléctrica, obteniendo solo pequeños beneficios y claras condiciones de desventaja frente a las transnacionales. En un país como México, donde por lo menos la capacidad de la industria manufacturera es alta, es imperante redireccionar el camino que la industria eoloeléctrica ha tomado, para lo cual el papel del Estado, nuevamente resulta imprescindible.

## **Hipótesis**

El costo de la producción de energía eléctrica en México no considera los daños ambientales provocados por su actividad, entre ellos las emisiones de bióxido de carbono, que generan externalidades e implican un daño a la sociedad. Internalizar las externalidades a través de impuestos en los costos de generación, tiene efectos favorables para reducir las emisiones de bióxido de carbono y puede incentivar el uso de la energía eólica.

Existe una relación directa entre el uso de la energía eólica y el desarrollo de su industria con el crecimiento económico, que se explica por la intervención del cambio tecnológico. La capacidad industrial de México, por lo menos en el sector manufacturero, puede ser aprovechada para fabricar equipos y/o componentes encaminados a suministrar la creciente demanda del sector eólico nacional y mundial. Estrategias de políticas industrial y comercial para el sector manufacturero eólico pueden incentivar el desarrollo del sector y simultáneamente el crecimiento económico nacional.

## **Objetivos**

### Objetivo general

Analizar el contexto actual del aprovechamiento de la energía eólica y de su sector manufacturero en México, y con base en ello diseñar políticas públicas capaces de incentivar el desarrollo de ambos y al mismo tiempo contribuir al crecimiento económico nacional.

### Objetivos particulares

- Fundamentar el aprovechamiento de la energía eólica en México con base en el análisis de las características de la producción eléctrica mexicana y el panorama global de las energías alternativas, específicamente de la eólica, atendiendo como elementos esenciales las implicaciones ambientales, la evolución de los costos y el potencial.
- Examinar el marco legal de la producción eólica y relacionarlo con la evolución de su desempeño.
- Plantear un conjunto de políticas públicas que incentiven la consolidación y el crecimiento de la energía eólica en México.
- Analizar la conexión entre uso de la eólica, industria manufacturera y crecimiento económico, tanto en términos empíricos como teóricos.
- Estudiar las políticas industrial y comercial mexicanas y su incidencia en el desarrollo del sector de manufacturas eólicas.
- Proponer estrategias de políticas industrial y comercial específicas para fomentar la industria de manufacturas eólicas.

## **Estructura de la tesis**

El primer capítulo, *“Generación de energía eléctrica en México y panorama general de la energía eólica”*, describe las principales características del sector eléctrico nacional para el servicio público, el tipo de fuentes energéticas que utiliza, la estructura de su mercado, la realidad sobre los combustibles fósiles, los problemas ambientales derivados y las tendencias en el sector. Adicionalmente, para centrarse en el tema, describe la situación del aprovechamiento de las energías alternativas y concretamente de la eólica. Posteriormente, analiza las implicaciones ambientales y los costos del uso de la eólica para generar electricidad. El objetivo primordial del capítulo, es justificar la promoción del uso de la energía eólica para generar electricidad, lo cual posteriormente posibilita también la promoción de su industria, temas que serán abordados en los siguientes capítulos.

El capítulo dos, *“Uso y fomento de la energía eólica en México”*, expone lo relacionado con el aprovechamiento de la energía eólica para la producción eléctrica en México. Como primer punto destaca su potencial y posteriormente hace un estudio minucioso del marco legal en el que opera esta fuente energética en el país. Inmersa la generación eoloeléctrica en este contexto, se analiza su desempeño y estatus actual, para definir los retos. Este segundo capítulo presenta una propuesta para incentivar la generación eléctrica con energía eólica, con base en la internalización de las externalidades derivadas de las emisiones de CO<sub>2</sub> y la recreación de dos escenarios de optimización en la producción eléctrica, cuyo objetivo es minimizar el nivel de emisiones de carbono del sector. Por último se hace un breve análisis y una propuesta en relación a los problemas derivados del pago por el arrendamiento de los terrenos donde se instalan y operan las plantas eólicas.

El último capítulo, *“La energía eólica conectada a la industria manufacturera y al crecimiento económico del país”*, presenta desde un enfoque empírico y teórico, la conexión entre el uso de la energía eólica, la industria manufacturera eoloeléctrica

y el crecimiento económico. Describe y analiza el escenario mexicano en el que se desenvuelve el precario sector de las manufacturas eólicas, mostrando su evolución hasta ahora y las políticas que lo envuelven. Con base en lo anterior, se deriva del análisis un diagnóstico de sus necesidades y para concluir, se establece una propuesta para estimular el desarrollo de la industria manufacturera eoloeléctrica, que incluye estrategias de políticas industrial y comercial.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO Y PANORAMA GENERAL DE LA ENERGÍA EÓLICA**

### **1.1 Introducción**

El capítulo uno describe las principales características del sector eléctrico nacional y de la energía eólica, pues la claridad de esta información, constituye un factor clave para realizar un análisis objetivo del tema central de esta tesis. De tal forma, dentro del primer capítulo se muestran aspectos como, el tipo de fuentes energéticas que el sector eléctrico mexicano utiliza, la estructura de su mercado, la situación de los combustibles fósiles, los problemas ambientales derivados y las tendencias en el sector. Así mismo, se exploran las características del uso de la energía eólica como fuente primaria en la generación eléctrica, introduciendo primero información de las energías alternativas y posteriormente exponiendo los atributos de la eólica, en especial los aspectos ambientales y los costos.

### **1.2 Características del sector eléctrico mexicano actual**

En México, garantizar el suministro de energía eléctrica para el servicio público es una obligación del Estado, quien para llevar a cabo esta tarea ha ampliado la gama de fuentes energéticas y al mismo tiempo ha modificado algunas reglas para que el sector privado participe en ciertas actividades. Ahora, tanto el sector público como el privado, generan electricidad, aunque es importante resaltar que, es el Estado quien continúa regulando al sector eléctrico.

La manera en la que se genera electricidad en cualquier región o país es resultado de un conjunto de factores que determinan el rumbo del sector, entre estos podemos mencionar, la abundancia o escasez de los recursos, el marco legal, el conocimiento de las opciones, el desarrollo tecnológico disponible, los costos, las tendencias mundiales, los aspectos sociales, entre otros. México tiene como

posibilidades para producir electricidad los siguientes recursos: petróleo, carbón, gas natural, energía hidráulica, energía nuclear, sol, viento, geotermia, biomasa y probablemente algunos otros que aún no han sido desarrollados en este campo, posibilidades que el país va discriminando de acuerdo a sus intereses y capacidades. El uso de las fuentes de energía primaria no presenta en absoluto una distribución uniforme. La característica primordial es el uso intensivo de combustibles fósiles en la generación eléctrica y un muy bajo desarrollo de las energías renovables<sup>1</sup>.

Dos de los indicadores esenciales de la producción de energía eléctrica son la capacidad efectiva de generación y la generación bruta de electricidad. La primera es la potencia de la unidad determinada por las condiciones ambientales y el estado físico de las instalaciones, corresponde a la capacidad especificada bajo condiciones de diseño por el fabricante de la unidad generadora o dispositivo eléctrico, corregida por efecto de degradaciones permanentes, debidas al deterioro o desgaste de los equipos que forman parte de la unidad. La generación bruta de electricidad es la energía de las unidades o centrales eléctricas medida a la salida de los generadores, incluye el consumo de usos propios de la central (CFE 2012c).

Según el Sistema de Información Energética (SIE 2013b), en el sector eléctrico mexicano destinado al servicio público, la mayor parte de la capacidad efectiva de generación y de la generación bruta de electricidad en México en 2012 se concentraron en combustibles fósiles. Para el caso de la capacidad efectiva de generación, los fósiles abarcaron 72.4% (termoeléctrica convencional, ciclo combinado, turbogas, combustión interna, dual y carboeléctrica), mientras que el resto se distribuyó 21.9% hidroeléctricas, 3.1% energía nuclear y 2.7% energías alternativas (geotermia, eólica y solar fotovoltaica). En cuanto a generación bruta de electricidad, más del 80% de la electricidad producida fue con fósiles, dejando

---

<sup>1</sup> Para fines de este trabajo, se distinguen dos categorías: a) Energías no renovables: combustibles fósiles, nuclear y gran-hidráulica; b) Energías alternativas o renovables: solar, eólica, mini-hidráulica, biomasa, geotérmica, energía del mar y energía del hidrógeno.

I. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO  
Y PANORAMA GENERAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

una escasa participación de las alternativas, que solo figuraron con 2.9% del total de la electricidad bruta generada en el 2012 (ver Cuadro 1.1).

**Cuadro 1.1**  
**Capacidad Efectiva de Generación y Generación Bruta de Electricidad**  
**Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012**

Tipo de planta	Capacidad Efectiva de Generación		Generación Bruta	
	(MW)	(%)	(GWh)	(%)
Hidroeléctrica	11,498	21.89	31,248	12.00
Termoeléctrica Convencional	11,699	22.27	53,918	20.71
Ciclo Combinado <sup>1</sup>	18,029	34.32	117,557	45.15
Turbogas	2,658	5.06	6,217	2.39
Combustión Interna	252	0.48	1,149	0.44
Duales <sup>2</sup>	2,778	5.29	16,234	6.23
Carboeléctrica	2,600	4.95	17,724	6.81
Nucleoeléctrica	1,610	3.06	8,770	3.37
Geotermoeléctrica	812	1.54	5,817	2.23
Eoloeléctrica <sup>1</sup>	598	1.14	1,744	0.67
Fotovoltaica	1	0.00	2	0.00
<i>Total</i>	<i>52,534</i>	<i>100.00</i>	<i>260,379</i>	<i>100.00</i>

<sup>1</sup> Incluye capacidad y generación de los productores independientes de energía vendida a CFE.

<sup>2</sup> Operan con carbón o combustóleo.

Fuente: Elaboración propia con base en datos del SIE (2013b).

Los datos mostrados revelan un rezago total en cuanto al desarrollo de las tecnologías más limpias para producir electricidad, situación provocada en gran medida por la política de CFE de generar electricidad al menor costo posible. Así, la producción del sistema eléctrico nacional se ha basado en plantas contaminantes que pronto padecerán por la escasez de los recursos que utilizan y cuya operación seguirá contribuyendo al deterioro ambiental.

Ahora bien, para mostrar las características del mercado de energía eléctrica, el Cuadro 1.2 presenta información relevante. La mayor parte de la energía eléctrica generada para servicio público es vendida a la mediana empresa, seguida del sector doméstico y la gran industria, quienes en 2012 absorbieron el 37%, 25% y 22% de las ventas totales, respectivamente; estos tres sectores contribuyeron ese mismo año con 243,679 millones de pesos corrientes al producto por la venta de electricidad, lo cual representó casi el 80% del producto total eléctrico. En cuanto al número de usuarios, éste fue superior a los 36 millones al cierre de 2012, de los cuales el 88% recayó en el sector doméstico. Por otra parte, el precio de la

I. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO  
Y PANORAMA GENERAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

energía eléctrica es variable dependiendo de múltiples factores, tales como, el segmento para el que se destine, el voltaje, la región, entre otros, por lo que existen fuertes contrastes entre sectores e incluso al interior de los mismos (SIE 2013b).

**Cuadro 1.2**  
**Características del mercado de energía eléctrica**  
**Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012**

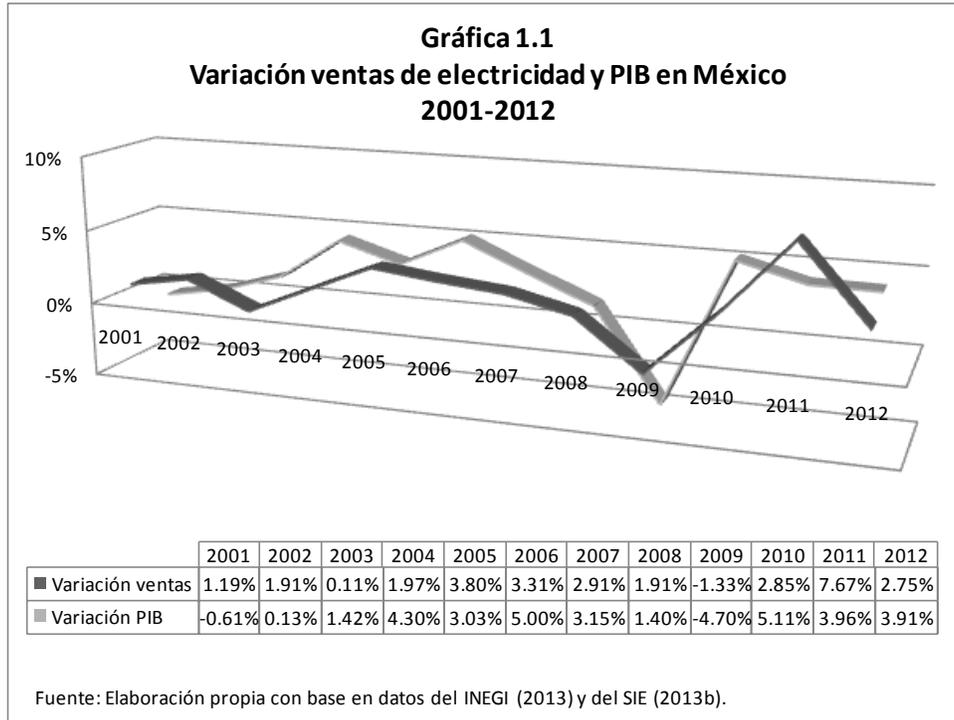
Concepto / Sector	Doméstico	Comercial	Servicios	Agrícola	Empresa mediana	Gran industria	Total
<b>Ventas internas de energía eléctrica (GWh y porcentajes)</b>	52,029.9	13,920.4	8,371.1	10,816.5	75,835.6	45,506.8	206,480.3
	25.2%	6.7%	4.1%	5.2%	36.7%	22.0%	100.0%
<b>Productos por la venta de energía eléctrica (MM \$ precios corrientes y porcentajes)</b>	60,844.9	40,529.9	17,415.9	6,303.2	124,874.6	57,959.6	307,927.9
	19.8%	13.2%	5.7%	2.0%	40.6%	18.8%	100.0%
<b>Usuarios de energía eléctrica (Miles de usuarios y porcentajes)</b>	32,189.6	3,625.1	189.7	124.2	270.4	0.9	36,399.8
	88.4%	10.0%	0.5%	0.3%	0.7%	0.0%	100.0%
<b>Precios medios de la energía eléctrica (¢/kWh precios corrientes)</b>	118.6	291.3	208.2	58.5	165.0	127.5	149.6

Fuente: Elaboración propia con base en datos del SIE (2013b).

En el ámbito doméstico, el suministro de energía eléctrica es considerado uno de los indicadores de bienestar de la población, por lo que cada vez más son los hogares que cuentan con el servicio. Al cierre de 2012, la Secretaría de Energía (2013b) reporta un 98.11% de población mexicana con acceso a electricidad; en 2010 el 97.8% de las viviendas particulares habitadas contaba con energía eléctrica (INEGI 2010), cifra que muestra un incremento con respecto a los años anteriores, en el año 2000 el indicador fue de 95.0% (INEGI 2000) y en 1990 de 87.5% (INEGI 1990); es decir ha experimentado un aumento de más del 10% en las últimas dos décadas.

Por otra parte, es importante resaltar que las ventas de energía eléctrica han mostrado una tendencia muy similar al Producto Interno Bruto (PIB). Al calcular el coeficiente de correlación de estas dos variables en México de 2000 a 2012, el valor obtenido fue de 0.98, lo cual muestra una estrecha relación positiva entre las ventas de electricidad y la producción del país. En la Gráfica 1.1 se expone que en México de 2001 a 2012, las variaciones porcentuales en estos dos rubros son muy similares, mostrando una tendencia creciente que se vio afectada por una fuerte

caída en 2009, año caracterizado por crisis. Lo anterior hace suponer que mientras haya crecimiento económico, la demanda de energía eléctrica también estará en aumento.

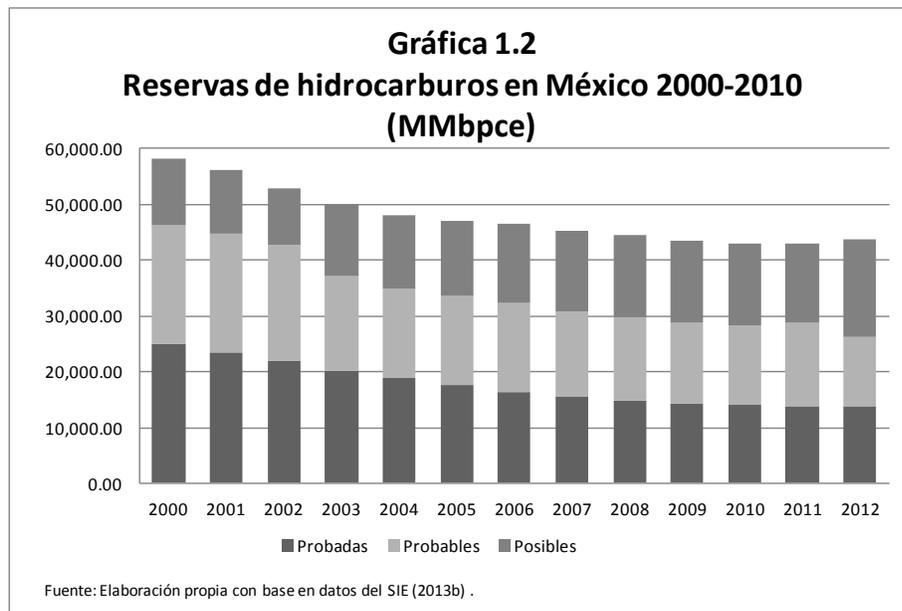


### 1.3 La situación de los hidrocarburos

Con respecto a los recursos, México es un territorio favorecido con la dotación de hidrocarburos. Para 2010, el país ocupó el lugar 17 de los países con mayores reservas probadas de petróleo con 10,420 millones de barriles y el lugar 33 de las reservas probadas de gas natural con 12 billones de pies cúbicos (PEMEX 2011: 14). Sin embargo, las tendencias de las reservas han ido a la baja, sobre todo las de las reservas probadas<sup>2</sup>. La relativa abundancia de los combustibles fósiles trajo

<sup>2</sup> Las reservas de hidrocarburos son clasificadas en tres tipos. a) Probadas: volumen de hidrocarburos medido a condiciones atmosféricas, que se puede producir económicamente con los métodos y sistemas de explotación aplicables en el momento de la evaluación. b) Probables: cantidad de hidrocarburos estimada a una fecha específica, en trampas perforadas y no perforadas, definidas por métodos geológicos y geofísicos, localizadas en áreas adyacentes a yacimientos productores en donde se considera que existen probabilidades de obtener técnica y económicamente producción de hidrocarburos, al mismo nivel estratigráfico donde existan reservas probadas. c) Posibles: cantidad de hidrocarburos estimada a una fecha

consigo una explotación excesiva de los mismos y pocas inversiones en la actividad de exploración, lo cual ha dado como resultado una baja en la cantidad de las reservas de estos recursos. La Gráfica 1.2 muestra la tendencia de las reservas de hidrocarburos durante los últimos 12 años en México, en ésta es posible notar que año con año las reservas han ido disminuyendo; de 2000 a 2012, las reservas totales disminuyeron más de 14 mil millones de barriles de petróleo crudo equivalente (casi un 25%), mientras que las reservas probadas y probables cayeron 45% y 42%, respectivamente. Al día de hoy, esta situación resulta preocupante, por el hecho que los recursos fósiles convencionales, siguen siendo las principales fuentes de suministro energético.



Ahora bien, si las reservas nacionales están disminuyendo, eso quiere decir que el uso de los recursos fósiles ha ido aumentando. En el Cuadro 1.3 se observa la producción de petróleo crudo y gas natural en México de 2000 a 2012. La

específica en trampas no perforadas, definidas por métodos geológicos y geofísicos, localizadas en áreas alejadas de las productoras, pero dentro de la misma provincia geológica productora, con posibilidades de obtener técnica y económicamente producción de hidrocarburos, al mismo nivel estratigráfico en donde existan reservas probadas (SIE 2013a).

I. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO  
Y PANORAMA GENERAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

---

producción de petróleo se había caracterizado por ir en aumento, sin embargo a partir de 2005 ha experimentado cambios a la baja. Ante la realidad petrolera, ahora el gas natural se presenta como la alternativa para continuar con la producción energética y los incrementos en la producción de pies cúbicos diarios del gas va creciendo de manera acelerada, de tal forma que de 2000 a 2012 presento un aumento de aproximadamente 36% (SIE 2013b). La importancia de México a nivel mundial en la producción de hidrocarburos es incuestionable.

**Cuadro 1.3**  
**Producción de petróleo crudo y gas natural en México**  
**2000-2012**

Año	Petróleo crudo (Mbd)	Gas natural (MMpcd)
2000	3,012	4,679
2001	3,127	4,511
2002	3,177	4,423
2003	3,371	4,498
2004	3,383	4,573
2005	3,333	4,818
2006	3,256	5,356
2007	3,076	6,058
2008	2,792	6,919
2009	2,601	7,031
2010	2,577	7,020
2011	2,553	6,594
2012	2,548	6,385

Fuente: Elaboración propia con base en datos del SIE (2013b).

Según datos de la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés), en 2010 y 2011, México ocupó las posiciones 8 y 9 entre los principales productores de crudo en el ámbito internacional, aunque para 2012, el país ya no figuró en la lista de los primeros diez (IEA 2011b, 2012b, 2013b). Para la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEC, por su siglas en inglés), México se situó en la séptima posición en 2010 como gran productor de crudo, mientras que para 2011 y 2012 cayó a la décima (OPEC 2013). Por su parte, la revista Forbes publicó en el verano de 2012 que, PEMEX es la octava mayor compañía petrolera del mundo por su importancia económica basada en la producción anual de petróleo y gas (Smilovitz 2012).

Por otra parte, centrándonos en el tema de la generación de electricidad, en el 2010 México generó 217.39 terawatts-hora (TWh) de energía eléctrica con base en combustibles fósiles, superado apenas por trece países a nivel mundial en este indicador (IEA 2012a). Los combustibles fósiles más usados en México para la producción eléctrica son los derivados del petróleo y el gas natural, el Cuadro 1.4 muestra cómo en 2011, México estuvo entre los principales cinco productores con dichos hidrocarburos (IEA 2013b).

**Cuadro 1.4**  
**Principales productores de energía eléctrica con combustibles derivados del petróleo y gas natural, 2011**

Derivados del petróleo		Gas Natural	
Principales productores	TWh	Principales productores	TWh
Japón	153	Estados Unidos	1,045
Arabia Saudita	142	Federación Rusa	519
Irán	67	Japón	374
México	48	Irán	160
Indonesia	42	México	156
Resto del mundo	606	Resto del mundo	2,598
<i>Total</i>	<i>1,058</i>	<i>Total</i>	<i>4,852</i>

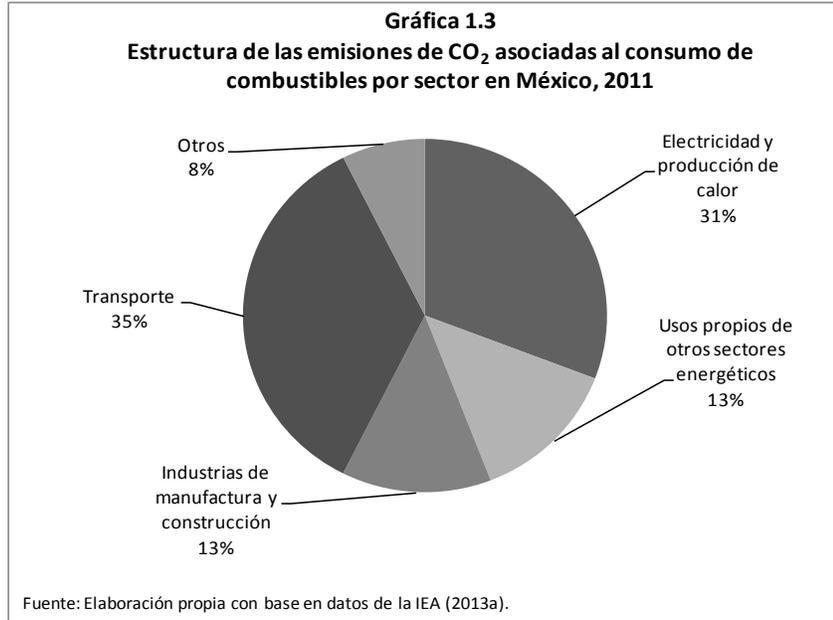
Fuente: Elaboración propia con base en datos de la IEA (2013b).

#### 1.4 El problema ambiental

El uso intensivo de combustibles fósiles tanto a nivel nacional como internacional, que incrementa la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, produce consecuencias negativas sobre el medio ambiente, entre las más representativas destaca el cambio climático global. De acuerdo al Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el cambio climático es la variación del estado del clima y/o su variabilidad, y que se mantiene durante un período de tiempo prolongado, generalmente decenios o por más tiempo. Se puede deber a procesos naturales internos, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera o el uso de la tierra. De acuerdo a los últimos datos de este organismo, hay un 95% de grado de certeza de la responsabilidad humana en el cambio climático global (IPCC 2012). De no tomar medidas sobre este aspecto, el cambio

climático se convierte en una amenaza potencial tanto para el medio ambiente como para la humanidad, capaz de provocar catástrofes naturales y condiciones climáticas severas y difíciles de predecir.

Según la IEA (2013a), en 2011 el sector energético a nivel internacional contribuyó con aproximadamente 83% de las emisiones de gases efecto invernadero; de este 83%, el 60% se derivó de la liberación de bióxido

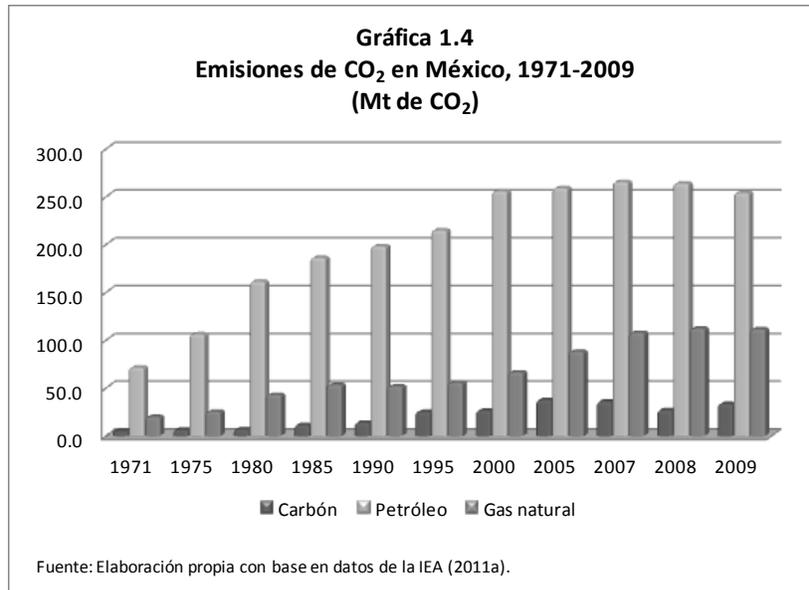


de carbono (CO<sub>2</sub>) por la oxidación de carbono al usar combustibles. Las emisiones de CO<sub>2</sub> por la quema de combustibles durante 2011 en el mundo y en México, fueron de 31,342.3 y de 432.3 millones de toneladas, respectivamente, es decir, nuestro país participó con 1.38% de dichas emisiones al total mundial. La Gráfica 1.3 muestra la participación de los diferentes sectores a la generación de las 432.3 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, destacando las emisiones del sector transporte con 35% y del sector eléctrico con 31%.

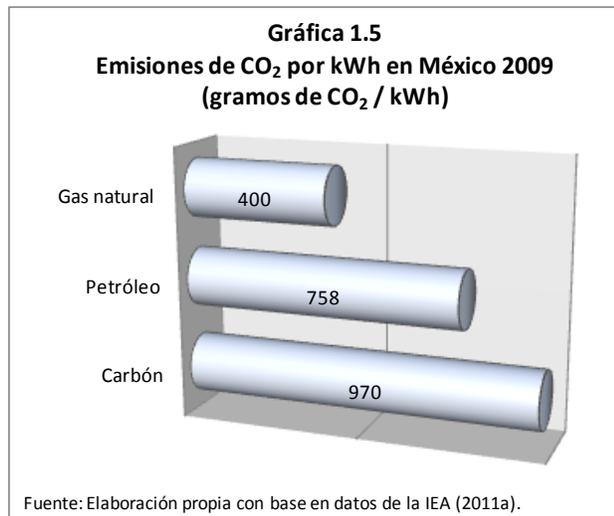
Ahora bien, las emisiones de CO<sub>2</sub> por quema de combustibles han ido cambiando. En la Gráfica 1.4 se aprecia cómo las emisiones de bióxido de carbono provenientes del uso del petróleo tendían a crecer en décadas anteriores, pero a partir del año 2000 se han mantenido más estables e incluso a la baja; en contraste las emisiones de CO<sub>2</sub> de carbón y gas natural han ido incrementando, con mayor dinamismo las de gas natural. Esta situación obedece, en parte, a que las emisiones de CO<sub>2</sub> mantienen una relación directa con la generación de

I. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO  
Y PANORAMA GENERAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

electricidad, la cual como se analiza más adelante, tiene un comportamiento similar.



Y haciendo una observación más minuciosa, en la Gráfica 1.5, se comparan las emisiones de bióxido de carbono por kilowatt-hora (CO<sub>2</sub>/kWh) de electricidad producido en México en 2009, utilizando carbón, petróleo y gas natural. Estos niveles de emisión ubicados en 970, 758 y 400 gramos de CO<sub>2</sub> por kWh, estuvieron por arriba del promedio



mundial, cuyos valores para el 2009 fueron de 901, 677 y 392 gramos de CO<sub>2</sub> por kWh usando carbón, petróleo y gas natural, respectivamente (IEA 2011a). Lo anterior muestra que en 2009, la eficiencia del sistema que transforma combustible en electricidad fue menor en México que el promedio mundial.

Con base en los datos anteriores, se deduce que el impacto ambiental de la generación de energía eléctrica es alto a través de combustibles fósiles debido a las emisiones de GEI, principalmente de CO<sub>2</sub> y por otra parte, se concluye que dentro de los hidrocarburos el menos contaminante es el gas natural.

Además de las emisiones de CO<sub>2</sub>, la generación eléctrica con fósiles también emite al aire otro tipo de contaminantes, como gases de lluvia ácida y partículas suspendidas, que en ciertos niveles pueden afectar la calidad de vida y perturbar el equilibrio de los ecosistemas.

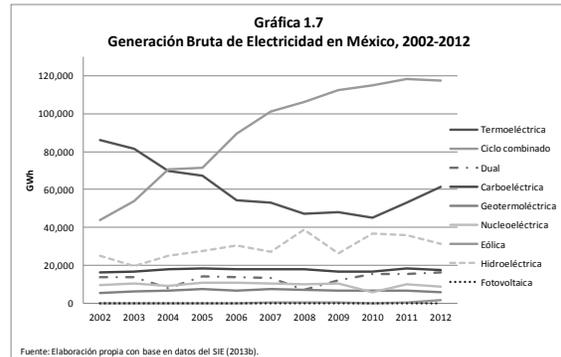
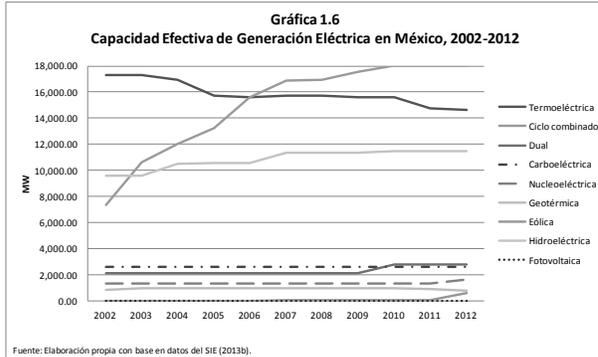
### **1.5 Tendencias del sector eléctrico mexicano**

Si bien es cierto que tanto en México como en el mundo entero sigue predominando la generación de energía eléctrica mediante hidrocarburos, también es cierto que en los últimos años se han presentado cambios con respecto al tipo de combustible utilizado y que la presencia de fuentes de energía alternativa ha comenzado a figurar en el panorama.

En las gráficas 1.6 y 1.7 se observa la tendencia desde 2002 hasta 2012 sobre la capacidad efectiva de generación y la generación bruta de electricidad en México, destinada al servicio público.

Las termoeléctricas, las hidroeléctricas y las tecnologías de ciclo combinado son las que más contribuyen en la generación eléctrica, pero sin lugar a dudas lo que más resalta en estas gráficas es el alto crecimiento de las tecnologías de ciclo combinado. En estos diez años, la generación bruta con ciclo combinado creció 267%, pasando de 44,068 a 117,556 gigawatts-hora (GWh) entre 2002 y 2012. En contraste, las termoeléctricas que en 2002 representaban poco más del 40% del total de la producción de energía eléctrica, ahora han reducido su participación y solo aportan alrededor del 20% de la generación bruta total.

# I. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO Y PANORAMA GENERAL DE LA ENERGÍA EÓLICA



El impactante crecimiento de las centrales de ciclo combinado tiene su explicación en diversas razones. Además de ser eficientes, muestran ventajas como, bajos costos de inversión y operación en comparación con otros sistemas energéticos, corto plazo de ejecución, gran flexibilidad de operación, bajo impacto ambiental, posibilidad de instalarse cerca de los centros de consumo y uso de un combustible de fácil transporte y manejo, el gas (Sabugal 2012). Asimismo es importante mencionar que poco más del 70% de la electricidad que se genera mediante ciclo combinado está a cargo de Productores Independientes de Energía (PIE)<sup>3</sup>, por lo que la entrada de estos productores se muestra determinante en el crecimiento del ciclo combinado.

Ahora bien, al gas natural se clasifica como convencional y no convencional, y dentro del segundo se encuentra el shale gas o gas de esquisto, elemento importante dentro del tema porque en los últimos años ha revolucionado al sector energético. Algunos suponen que el shale gas es mucho más abundante que las fuentes convencionales de gas y que, ciertas naciones que antes se asumían con bajas dotaciones de hidrocarburos, poseen un gran potencial, aunque hasta ahora no hay estudios concisos que fundamenten tales aseveraciones. De acuerdo con un análisis en América Latina (Martin y Orco 2011), México tiene el segundo mayor potencial de gas de esquisto en la región, aunque aún no ha hecho mucho por desarrollar los yacimientos existentes, debido en parte al enfoque de Pemex que privilegia el desarrollo de los depósitos de petróleo crudo, aunque por otra

<sup>3</sup> Titulares de permisos para generar energía eléctrica destinada exclusivamente para su venta a CFE.

parte, la baja en el precio del gas natural por el fuerte desarrollo que se ha tenido en Estados Unidos, podría llevar a que sea más barato importar el gas que desarrollar los recursos propios del país. Además, en la explotación del shale gas están inmersos aspectos medioambientales que han hecho aún más cuestionable el tema. En caso de existir abundantes recursos, aún se debe definir qué tan conveniente es extraer este gas.

En cuanto a las energías alternativas, éstas presentan un crecimiento muy lento, incluso es apenas en los últimos años que comienzan a figurar dentro de la matriz energética, aunque aún con muy pequeños porcentajes.

Es claro que existe una tendencia hacia una transformación de generación eléctrica con petróleo hacia generación eléctrica con gas, sin embargo ello en el mediano y largo plazo no resulta muy viable, ya que en algunos años se enfrentaría nuevamente el conflicto de un recurso finito que además genera problemas ambientales. Así, el gas natural puede representar solo el combustible de transición hacia las energías alternativas, las cuales por razones de financiamiento, conocimiento, desarrollo tecnológico, marco legal, etcétera, aún no son candidatas a un extenso desarrollo en el corto plazo como el gas natural. Lo anterior no quiere decir que se descarte la investigación y el desarrollo de estas energías, sino por el contrario, deben incentivarse estas actividades para enfrentar los futuros retos del sector eléctrico.

### **1.6 La energía eólica**

Dentro de la gama de energías alternativas, se encuentra la energía eólica, una de las energías alternativas que mayor dinamismo ha mostrado en los últimos años.

La energía eólica tiene su origen en el Sol, ya que éste es el responsable de que se produzca viento. La atmósfera de la Tierra absorbe la radiación solar de forma irregular debido a factores como la nubosidad, la orografía, los océanos, entre otros. En las zonas con mayor impacto solar, el aire calienta más. Por efecto de la radiación solar, el aire se dilata y asciende formando bolsas de aire; en las zonas

con menos radiación, el aire asciende menos y se concentra en bolsas sometidas a altas presiones, mientras que el aire caliente queda sometido a bajas presiones en bolsas más altas. Esta diferencia de presiones, hace que el aire tienda a desplazarse desde las zonas de alta presión a las de baja, más altas. Precisamente este movimiento del aire es a lo que llamamos viento (Fundación Eroski 2004).

La energía cinética del viento se ha utilizado desde hace milenios para diversas actividades, pero su aplicación comercial para generar electricidad comenzó a ser viable en la década de los 70's. Mediante la eólica, se pueden reducir considerablemente las emisiones de GEI, tanto a corto como a largo plazo, utilizando dicha energía para generar electricidad mediante turbinas eólicas de gran tamaño conectadas a la red, instaladas en tierra firme, o en agua marina o agua dulce (IPCC 2012). El notable crecimiento de esta tecnología en la producción eléctrica, ha puesto los reflectores sobre las plantas eólicas, en un intento por deliberar la viabilidad de su uso e incluso fomentar su crecimiento. Obtener conclusiones acertadas, representa una ardua tarea, que solo puede considerarse completada si se realiza un análisis integral de los múltiples factores involucrados en la actividad. Es por ello que antes de entrar de lleno al tema eólico en México, en los siguientes apartados se describe el panorama general de la energía eólica, para obtener una visión global del tema y posteriormente derivar de este análisis conclusiones para el caso mexicano.

### **1.6.1 Las energías alternativas y la energía eólica**

El desarrollo de las energías alternativas cobra cada vez más importancia, tanto para países desarrollados, como para aquellos que están en vías de desarrollo. La preocupación por el medio ambiente y la posibilidad de que dichas energías se conviertan en un catalizador del crecimiento económico están transformando la matriz energética, aunque, a un paso todavía lento. Dicha transformación está motivada también, por la hipótesis de que el uso de las energías alternativas

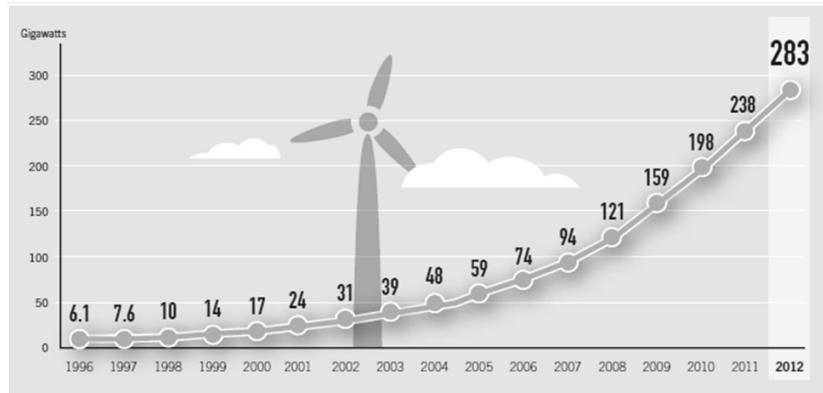
favorezca el desarrollo social, el acceso a la energía y la seguridad en el suministro de la misma.

La capacidad instalada de las renovables a nivel mundial ha ido en aumento, pasando de 250 gigawatts (GW) en 2009, a 315 GW en 2010, 395 GW en 2011 y 480 GW en 2012. Las naciones a la cabeza en 2012 en capacidad instalada de energías renovables fueron China, Estados Unidos, Alemania, España e Italia. En cuanto a costos, estos han presentado tendencias a la baja, principalmente para el caso de los sistemas fotovoltaicos y de las turbinas eólicas, lo cual se traduce en incrementos significativos de la inversión, que creció 17% en el 2011 para las renovables; aunque este dato es menor al 37% de crecimiento del 2010, resulta revelador por haberse logrado precisamente en plena crisis de deuda Europea y en la baja de precios de los equipos en cuestión. No obstante, es indispensable distinguir que, estos incrementos de inversión y de capacidad instalada no se traducen de forma automática en incrementos al total de la generación eléctrica, ya que las energías alternativas más sobresalientes, eólica y solar, se caracterizan por una alta intermitencia, además hay algunos países que siguen invirtiendo en tecnologías que usan combustibles fósiles. De tal suerte que, aproximadamente solo el 5.2% de la producción eléctrica mundial en 2012 se realizó mediante energías renovables. Por otra parte se estima que estas tecnologías generaron alrededor de 5.7 millones de empleos directos e indirectos en 2012 (REN21 2012b, 2013).

Durante 2012, se instalaron aproximadamente 45 GW de capacidad eólica en el mundo, incrementando la capacidad eólica global en un 19% al llegar a 283 GW, mostrándose de tal forma como una de las renovables con mayor crecimiento. Alrededor de 44 países adicionaron capacidad eólica en 2012, al menos 64 naciones tienen más de 10 MW de capacidad instalada y 24 de ellos tienen más de 1 GW en operación. Las tasas de crecimiento de la instalación de capacidad eólica son altas. De 1996 a 2012 la capacidad eólica ha tenido una tasa de crecimiento promedio de 27% (ver Gráfica 1.8) (REN21 2013).

# I. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO Y PANORAMA GENERAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

Gráfica 1.8  
Capacidad instalada eólica mundial de 1996 a 2012



Fuente: REN21 (2013).

Los países que más capacidad eólica instalaron en 2012 fueron China, Estados Unidos, Alemania, India y Reino Unido. De la capacidad instalada eólica total acumulada al final del 2012, los líderes fueron China, Estados Unidos, Alemania, España e India. La distribución de la capacidad instalada eólica entre países no es en absoluto uniforme, tan solo China y Estados Unidos, absorbieron casi el 60% del mercado global en 2012 (REN21 2013). El incremento de eólica en estos países es verdaderamente impresionante, por ejemplo, China al final de 2011 con 62.4 GW, representó más de un cuarto de la capacidad eólica mundial y 24 veces más su capacidad apenas 5 años atrás; pese a que en 2011 experimentó una baja relativa con respecto al año anterior (REN21 2012b). A pesar de estas tendencias, la energía eólica solo representa una pequeña fracción del suministro eléctrico mundial; la capacidad eólica total instalada al término de 2009 cubrió aproximadamente 1.8% de la demanda mundial de electricidad. Además el mercado continúa caracterizado por la concentración en algunas regiones, dejando zonas con capacidad eólica escasa, a pesar de su elevado potencial técnico (IPCC 2012).

Aunque no existe un consenso sobre el potencial de la energía eólica, si hay varias aproximaciones que nos brindan la seguridad de que éste no representa un obstáculo para el desarrollo de dicha energía. El potencial teórico global de la energía eólica asciende a 50 terawatts (TW), de los cuales de 2 a 4 TW son

técnicamente factibles (Ferrari y Estrada 2012). Al final del 2011 solo 0.238 TW del potencial técnicamente factible han sido instalados (REN21 2012b). Por otra parte, según cálculos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, el potencial técnico de la energía eólica en tierra se cifra en 50,000 TWh/año (IPCC 2007). Otras estimaciones, basadas en un número relativamente mayor de limitaciones a su desarrollo, cifran el potencial entre un mínimo de 19,400 TWh/año (únicamente en tierra) y un máximo de 125,000 TWh/año (en tierra y en la costa). De cualquier forma, el rango entre estos valores representa aproximadamente entre una y seis veces la producción mundial de electricidad generada en 2008 (IPCC 2012). Con base en los datos anteriores, constatamos que el potencial es muy alto, sin embargo es necesario tomar en cuenta que el recurso eólico no está distribuido de manera uniforme en todas las regiones y además es muy variable, por lo que es natural que su desarrollo sea diferenciado entre una zona y otra. Por otro lado, factores como los costos, el desarrollo de la tecnología, las políticas institucionales, la aceptación social y las implicaciones ambientales que pueda generar el uso de la eólica son determinantes en su desarrollo.

La tecnología para la generación eléctrica a gran escala mediante energía eólica se clasifica en dos tipos: onshore o terrestre y offshore o mar adentro. La tecnología de la energía eólica mar adentro ha evolucionado menos que la energía eólica en tierra, y sus costos de inversión son mayores. Sin embargo, los parques eólicos offshore siguen resultando atractivos debido a la posibilidad de mejorar la calidad de los recursos eólicos marinos, utilizar turbinas eólicas de mayor tamaño, conseguir economías de escala adicionales y acceder a un acervo más amplio de recursos eólicos en zonas en que el desarrollo de esa energía está limitado por el potencial técnico y/o por conflictos con otros usos de la tierra en las fases de planificación y emplazamiento (IPCC 2012).

### 1.6.2 Consideraciones ambientales del uso de la energía eólica

El interés inicial por el uso de la energía eólica para la generación de electricidad, sin duda fue producir electricidad con menor impacto ambiental. El proceso de conversión viento-electricidad presenta diversas ventajas: no libera gases de efecto invernadero, no emite contaminantes atmosféricos, no utiliza grandes cantidades de agua y no genera residuos peligrosos. Además, la fuente energética usada, el viento, es inagotable, está en la superficie, no requiere procesos de extracción y su manejo y posibles accidentes durante la explotación no implican riesgos ambientales de alto impacto (Borja et al. 1998).

Las cualidades mencionadas, colocan ambientalmente a la eólica muy por encima de otras fuentes, sobre todo, muy por encima de los fósiles. Sin embargo análisis más refinados, sugieren que el aprovechamiento de la energía eólica para la generación de electricidad también puede acarrear problemas ambientales, tales como los siguientes:

- Emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes. Los beneficios ambientales que presume la eólica, la mayoría de las veces solo consideran la etapa de operación de los parques eólicos, dejando a un lado las actividades relacionadas con etapas anteriores y posteriores a la producción eléctrica, tales como la fabricación, el transporte, la instalación, el mantenimiento y el desmantelamiento de los aerogeneradores y de los parques eólicos. Considerando la generación eoloeléctrica desde una perspectiva más holística, tal como la que ofrece la economía ecológica, se han realizado algunos análisis de ciclo de vida (ACV)<sup>4</sup>, los cuales han detectado diversos impactos ambientales, siendo la etapa de fabricación de

---

<sup>4</sup> El ACV es una herramienta metodológica que permite evaluar los impactos ambientales de productos o servicios de una forma global porque considera todas las etapas del ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta su disposición final y todos los vectores involucrados (aire, agua, suelo), para así poder mitigarlos. Consiste en un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema, para posteriormente evaluar los impactos potenciales asociados e interpretar los resultados en relación con el objetivo del estudio (REMACV 2012).

aerogeneradores, la de mayor impacto ambiental asociado. De acuerdo con un análisis de ciclo de vida realizado para la empresa danesa Vestas (D'Souza et al. 2011), los impactos ambientales potenciales de la generación de energía eléctrica con base en eólica, incluyen:

- Agotamiento de los recursos abióticos (elementos y fósiles).
  - Acidificación potencial.
  - Eutrofización potencial.
  - Ecotoxicidad potencial acuática en agua dulce y en agua salada.
  - Calentamiento global potencial
  - Toxicidad humana potencial.
  - Creación potencial de ozono fotoquímico.
  - Ecotoxicidad terrestre potencial.
- Impactos a la biodiversidad. Incluyen la muerte de aves y murciélagos y la destrucción o fragmentación de hábitats naturales. Las aves y los murciélagos pueden morir por la colisión de las palas de los aerogeneradores, que giran a una velocidad de aproximadamente 270 km/hr. Existe la posibilidad de que las aves prefieran mantenerse lejos de las turbinas eólicas, las torres y otras estructuras altas, por lo que el desequilibrio en el ecosistema también puede ser causado por la migración de las aves y no solo por su muerte. Por su parte los murciélagos, suelen ser atraídos por los aerogeneradores y morir a tasas más altas que las aves, problema que se agrava por ser longevos y tener bajas tasas de natalidad. En cuanto a los hábitats naturales, éstos pueden ser afectados por el establecimiento de parques eólicos, poniendo en riesgo evidente a las especies del ecosistema en cuestión (Ledec et al. 2011).
  - Impactos visuales. Muchas personas consideran poco estético un aerogenerador o un parque eólico por lo que argumentan impactos molestos al paisaje, especialmente en lugares turísticos y áreas de recreación (Ibidem).

- Impactos locales molestos: parpadeo de sombra, ruido e interferencia. El llamado parpadeo de sombra se genera cuando las turbinas están relativamente cerca de las casas y crean rápidos parpadeos de sombra cuando el sol está cerca del horizonte. El ruido es otro impacto local molesto ampliamente mencionado, a pesar de que éste solo afecta dentro de un rango cercano de aproximadamente 300 m. Por otra parte, cuando los aerogeneradores operan dentro de la línea de visión de un radar aéreo o de telecomunicaciones, los aerogeneradores pueden provocar interferencia electromagnética que limita el funcionamiento de radares aéreos, radio, televisión y sistemas de transmisión de microondas (Ibidem).
- Debido a la variabilidad del recurso eólico, se requiere capacidad de respaldo para asegurar un abasto continuo de electricidad a los usuarios y esta capacidad de respaldo en la mayoría de las instancias es de origen fósil, por lo tanto la eólica también tiene implícitos en cierta medida los efectos medioambientales de las fuentes fósiles.

No obstante a los impactos mencionados, la realidad es que hoy en día, la eólica representa una de las opciones ambientalmente más amigables para producir energía eléctrica. Aunque su impacto no es cero, si es mucho más bajo que el impacto producido por otras tecnologías. La mitigación a los gases de efecto invernadero, representa, sin lugar a dudas, uno de los puntos que hacen más fuertes los argumentos a favor de la eólica. A pesar de que no existe un consenso sobre los beneficios ambientales de la energía eólica, con la evidencia empírica se han hecho algunas aproximaciones que constatan su viabilidad en el plano ambiental. Solo por mencionar algunas, a continuación se enlistan las siguientes:

- Un estudio comparativo de ocho tecnologías de generación eléctrica, elaborado por la Asociación de Productores de Energías Renovables, donde utilizan la metodología del ACV, concluyen en cuanto a calentamiento global, que en España las tecnologías más favorables son la minihidráulica, la nuclear y la eólica, contribuyendo con 0% las primeras dos

y con un 1% la última al total de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la producción eléctrica (APPA 2010).

- De acuerdo al “Global wind power boom continues despite economic woes” (CANWEA 2010), con la capacidad instalada al final de 2009 se podrían generar 340 TWh por año y ahorrar 204 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> por año.
- Ciertos análisis del ciclo de vida de la producción de electricidad indican que las emisiones de GEI resultantes de las tecnologías de la energía renovable son, por lo general, bastante menores que las ocasionadas por los combustibles fósiles y, en ciertas condiciones, menores que estas últimas acompañadas de captura y almacenamiento del bióxido de carbono. Los valores medianos para el conjunto de las energías renovables están situados entre 4 y 46 g de CO<sub>2</sub>eq/kWh, mientras que los combustibles de origen fósil están comprendidos entre 469 y 1,001 g de CO<sub>2</sub>eq/kWh (IPCC 2012).
- El parque eólico La Venta II, ubicado en Oaxaca, México, ha contribuido a reducir emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en 200,000 toneladas por año (Ledec et al. 2011).
- La reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> en México en 2011 gracias a la eoloeléctrica fue de 780,000 toneladas (Borja 2012).

### **1.6.3 Costos de generación eléctrica a partir de energía eólica**

El costo de generación de energía eléctrica es uno de los factores determinantes para definir el tipo de energía primaria que se utiliza, pues a través de éste los productores determinan la viabilidad de la generación energética como una actividad económica redituable.

Borja et al. (1998), distinguen diversos elementos que influyen económicamente en la creación de plantas eoloeléctricas, y también reconocen ventajas con

relación a la construcción de las plantas. Entre los elementos que influyen en su creación, es posible mencionar:

- Régimen de viento en el sitio de construcción
- Complejidad del terreno
- Turbulencia
- Altura sobre el nivel medio del mar
- Interconexión a sistemas eléctricos
- Interconexión a líneas de alto voltaje
- Cercanía con la línea de interconexión
- Facilidad de acceso al sitio
- Infraestructura preexistente
- Diseño de la central
- Grado de dificultad para construir, mantener y operar la central
- Confiabilidad y comportamiento de las máquinas
- Grado de correlación de la generación con la demanda
- Condiciones de financiamiento
- Reconocimiento económico de beneficios
- Condiciones del marco regulador en cuanto a los lineamientos para que las compañías eléctricas reciban la producción eoloeléctrica

Entre las ventajas de construcción, están:

- Pueden crecer modularmente, lo que permite ventajas económicas para la reinversión.
- Velocidad de construcción comparable con la de otras tecnologías.
- Una vez construida la infraestructura básica (líneas y subestaciones eléctricas, caminos de acceso, etcétera), cada aerogenerador que se instala puede entrar en operación y comenzar a generar retribuciones por la energía que produce. Esto ayuda a mitigar los intereses durante la construcción.

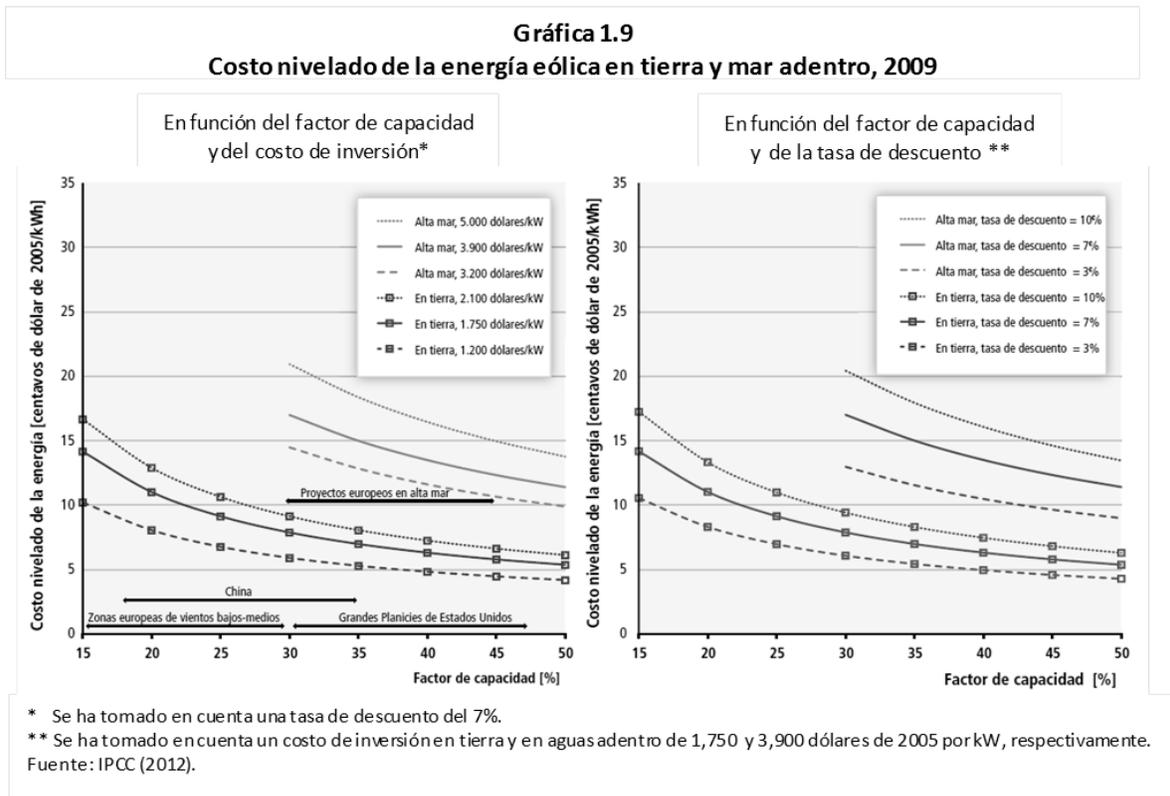
Estos factores, inciden de cierta forma en el costo de generación de energía eléctrica. Para tomar en cuenta todos los elementos y todas las etapas en la vida de una planta eólica, a menudo se utiliza el costo nivelado, pues éste involucra diversos vectores, desde los costos de inversión hasta los costos de operación y mantenimiento. El costo nivelado de la energía representa el costo de un sistema generador de energía durante toda su vida útil; se calcula en términos del costo unitario que debería asignarse a la generación de energía a partir de una fuente específica y durante todo su vida útil para no arrojar pérdidas. Suele incluir la totalidad de los costos privados acumulados a medida que se incorpora valor añadido, pero no incluye ni el costo de la entrega para el cliente final, ni el costo de la integración, ni los costos medioambientales externos o de otra índole. Las subvenciones y los créditos fiscales tampoco están incluidos (IPCC 2012).

Existen numerosos aspectos que influyen en el costo nivelado de la energía en las centrales eólicas, entre los que destacan, la producción de energía anual, los costos de inversión, los costos de operación y mantenimiento, los costos de financiación y el ciclo de vida económico atribuido a la central. Pese a que no existe unanimidad en cuanto al resultado de los costos nivelados, sí existe cierta concordancia en la idea de que, las actividades de investigación y desarrollo, las pruebas técnicas y la experiencia obtenida podrían lograr una reducción del costo nivelado de la energía eólica en tierra de entre el 10% y el 30% de aquí a 2020; mientras que la energía eólica mar adentro podría experimentar reducciones del costo ligeramente mayores, de entre el 10% y el 40% de aquí a 2020, aunque algunos estudios han identificado escenarios en que los factores del mercado traerían aparejados aumentos del costo a corto o mediano plazo (IPCC 2012).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (2012) ha calculado el costo nivelado a nivel mundial de la energía de las centrales eólicas, en tierra y mar adentro, para un gran número y diversidad de parámetros iniciales, entre 3.5 y 17 centavos de dólar de 2005 de Estados Unidos por kilowatt-hora y entre 7.5 y 23 centavos de dólar de 2005 de Estados Unidos por kilowatt-hora, respectivamente.

I. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO  
Y PANORAMA GENERAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

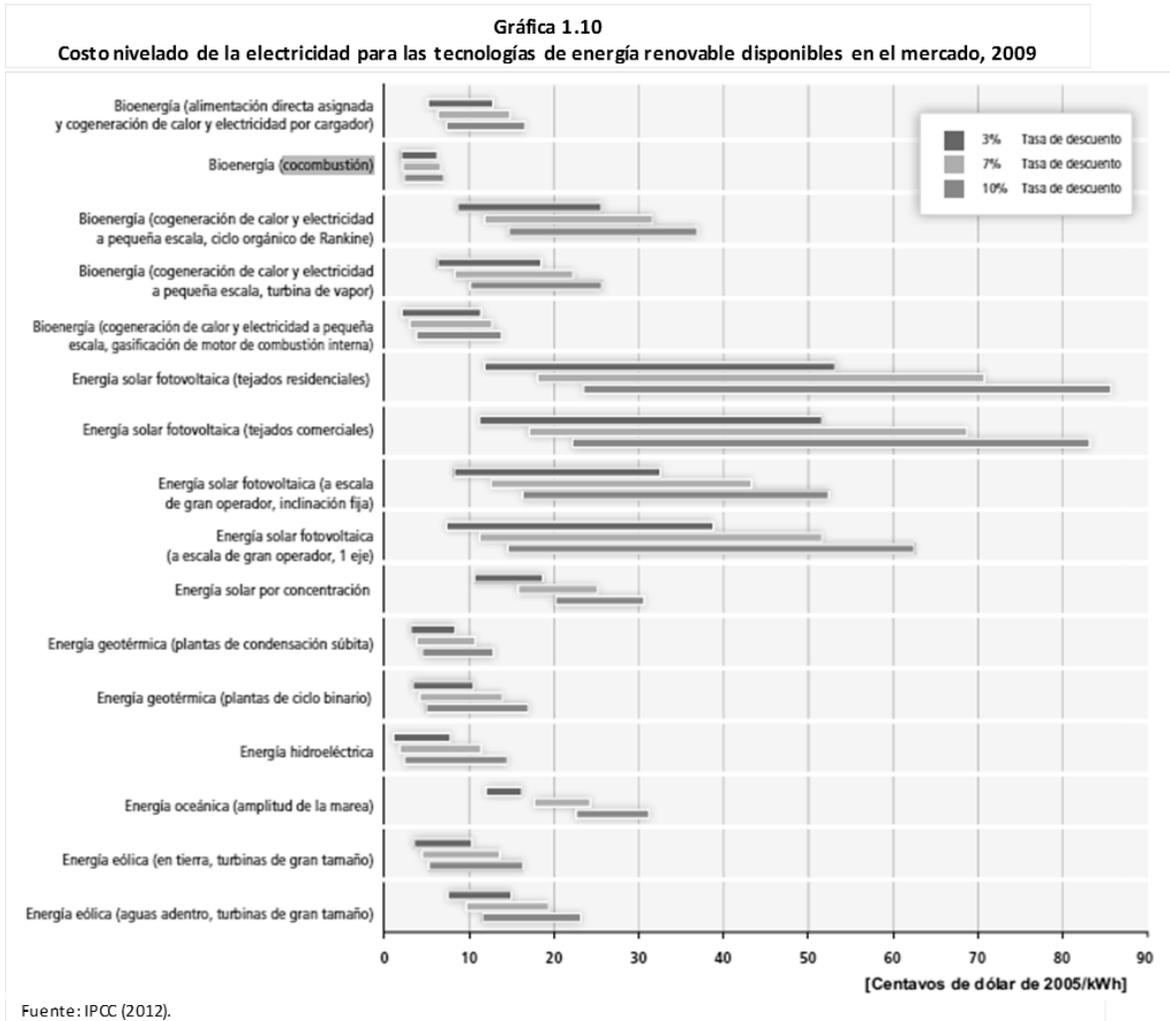
La gráfica 1.9 muestra el costo nivelado de la energía en tierra y mar adentro. Para la energía eólica en tierra, las estimaciones corresponden a datos de 2009; mientras que para la energía eólica mar adentro se utilizaron datos de 2008, 2009 y previstos para 2010. De acuerdo a estas estimaciones, el costo nivelado de la energía eólica en tierra para regímenes de viento entre favorables y excelentes representa en promedio entre 5 y 10 centavos de dólar de 2005 de Estados Unidos por kilowatt-hora, aproximadamente, pudiendo llegar a más de 15 centavos de dólar de 2005 de Estados Unidos por kilowatt-hora en zonas con escasez de recursos. Y para las centrales mar adentro el costo nivelado de la energía se estima en valores comprendidos entre 10 y más de 20 centavos de dólar de 2005 de Estados Unidos por kilowatt-hora.



Ahora bien, si se compara el costo nivelado de la energía eólica con otras fuentes de energía renovable, se observa que, en términos globales la eólica es

I. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO  
Y PANORAMA GENERAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

competitiva económicamente y que, al igual que en todas las inversiones, la tasa de descuento influye en su costo (ver Gráfica 1.10).



El límite inferior del rango de costo nivelado se basa en los extremos bajos de los rangos de inversión, operación y mantenimiento y, si es aplicable, en costo de materias primas; en los extremos altos de los rangos de los factores de capacidad y tiempos de vida, así como, si es aplicable, en los extremos altos de la rangos de eficiencias de conversión y de ingresos por producto. Mientras que el límite superior se basa, en la parte alta de los rangos de inversión, operación y mantenimiento y, si es aplicable, en el costo de materias primas; en el extremo inferior de los rangos de los factores de capacidad y tiempos de vida, así como, si

es aplicable, en los extremos bajos de los rangos de eficiencias de conversión y de ingresos por productos (IPCC 2012).

El costo nivelado actual de la eoloeléctrica ha variado sustancialmente en las últimas décadas. El costo de inversión, que representa el componente más fuerte del costo nivelado, disminuyó de 1980 a 2004, sin embargo de 2004 a 2009 los costos de inversión aumentaron, debido principalmente a factores como: un aumento del costo de la mano de obra y de los materiales de insumo; un aumento de los márgenes de beneficio de los fabricantes de turbinas y de sus proveedores; la fortaleza relativa del euro, y el aumento del tamaño de los rotores de las turbinas y de la altura de sus ejes. En 2009, el costo de inversión promedio de las centrales eólicas en tierra instaladas en todo el mundo ascendía a aproximadamente 1,750 dólares de 2005 por kW; en China, durante 2008 y 2009, el costo de inversión se cifraba entre 1,000 y 1,350 dólares de 2005 por kW, aproximadamente. Para el caso de las centrales eólicas mar adentro, su costo de inversión ha sido históricamente entre un 50% y un 100% superior al de las centrales en tierra. Los costos de inversión de las centrales no terrestres más recientemente instaladas o anunciadas se cifran entre 3,200 y 5,000 dólares de 2005 por kW (IPCC 2012). Las tendencias actuales van nuevamente a la baja en los costos, de tal forma que en 2011, el nivel de precios de las turbinas eólicas terrestres se redujo 10% (REN21 2012a).

Anteriormente, los costos nivelados de las energías no convencionales eran mucho más altos que los de las energías fósiles, hoy por hoy, las tendencias en los costos han cambiado. Concretamente para México en 2012, el Cuadro 1.5 muestra los costos unitarios de generación por tipo de tecnología, donde se compara a la eólica no solo con otras renovables, sino también con fósiles. La eólica con costos nivelados totales aceptables, aún se encuentra en desventaja frente a algunos fósiles, como el gas natural, por ahora el fósil más barato y menos contaminante, el más utilizado en la producción eléctrica. Las tecnologías de ciclo combinado son hoy en día económicamente más redituables que el resto

I. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO  
Y PANORAMA GENERAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

de las tecnologías. La evidente preferencia por formas de generación más baratas, deja de lado la importancia de los aspectos ambientales, ya que éstos, no están considerados dentro del costo nivelado.

Cuadro 1.5  
Costos de generación eléctrica por tipo de tecnología, 2012

Central	Número de unidades <sup>1</sup>	Capacidad por unidad (MW)		Costos en US\$/MWh neto					
		Bruta	Neta	Inversión	Combustible	O&M	Agua	Total	
Termoeléctrica convencional	2	350.0	332.2	25.76	87.61	6.58	1.49	121.44	
	2	160.0	149.2	36.41	93.65	9.30	1.75	141.12	
	2	80.0	74.5	45.95	100.43	11.74	1.97	160.09	
Turbogás aeroderivada gas	1	42.2	40.9	93.81	52.77	15.74		162.32	
	1	103.7	100.3	86.82	50.41	14.57		151.80	
Turbogás industrial gas	1	84.7	83.1	68.14	66.02	11.43		145.60	
	1F	182.1	178.2	58.69	57.86	9.85		126.40	
	1G	262.7	256.6	53.58	55.43	8.99		118.01	
	1H	273.9	266.2	54.64	54.16	9.17		117.97	
Turbogás aeroderivada diesel	1	39.9	39.3	90.15	147.06	15.13		252.33	
Ciclo combinado gas	1Ax 1	109.0	105.7	19.07	42.49	6.57	0.01	68.14	
	1Fx 1	281.9	273.3	15.21	38.20	5.24	0.00	58.65	
	2Fx 1	567.0	549.6	14.69	37.99	5.06	0.00	57.74	
	3Fx 1	851.6	825.7	14.42	37.93	4.97	0.00	57.33	
	1Gx 1	393.7	380.7	14.00	37.50	4.82	0.00	56.33	
	2Gx 1	789.4	763.7	13.81	37.40	4.76	0.00	55.97	
	1Hx 1	405.7	391.3	14.00	36.85	4.83	0.00	55.68	
	2Hx 1	813.6	785.0	13.83	36.75	4.76	0.00	55.34	
<sup>2</sup> Combustión interna	1	44.0	42.3	46.42	80.64	18.02	0.04	145.12	
	3	3.6	3.3	66.35	99.81	7.74	0.09	173.99	
<sup>3</sup> Carboeléctrica	2	350.0	331.1	33.79	28.78	8.63		71.20	
	1	700.0	671.4	30.29	27.03	7.74		65.06	
	1	700.0	668.6	31.42	26.91	8.03		66.36	
Nuclear (ABWR)	1	1,400.0	1,351.0	72.05	5.35	13.88		91.27	
<sup>4</sup> Geotermoeléctrica	Cerro Prieto	4	27.0	25.0	36.19	70.28	12.45	0.07	118.99
	Los Azúfres	4	26.6	25.0	30.65	29.96	9.86	0.07	70.54
Hidroeléctricas	2	375.0	373.1	112.26	0.71	10.44		123.42	
	3	45.0	44.8	100.58	9.79	9.35		119.72	
	2	8.6	8.5	45.43	8.64	4.23		58.29	
Eólica	Clase de viento 6	67	1.5	1.5	77.41		9.16	86.57	
	Clase de viento 7	67	1.5	1.5	67.74		8.01	75.75	
Solar fotovoltaica	1	60.0	59.9	182.12		7.63		189.74	

<sup>1</sup> Número de unidades por central o número de turbinas de gas por cada turbina de vapor.

<sup>2</sup> La de mayor capacidad es de dos tiempos, la de menor es de cuatro tiempos

<sup>3</sup> La central carboeléctrica opera con carbón doméstico, la supercrítica con carbón importado de 1% de azufre.

<sup>4</sup> El costo del combustible se refiere a la inversión y operación y mantenimiento del campo geotérmico.

Fuente: CFE (2012b).

Por otra parte, es importante considerar que para la generación eléctrica mediante fuentes renovables e intermitentes, es indispensable tener al menos un porcentaje de capacidad de respaldo, pues habrá ciertos momentos, que pueden ser horas o

incluso días, en los cuales la poca o nula presencia de la fuente renovable vuelve imposible la producción de electricidad. Este factor resulta particularmente relevante cuando se pretende integrar a las fuentes renovables en gran escala, ya que cualquier sistema eléctrico exige tener seguridad en el suministro energético.

La única manera de brindar esta seguridad es mediante la instalación de capacidad de respaldo, la cual generalmente se instala con plantas de combustión interna o turbogas. Los costos adicionales que implica la capacidad de respaldo, hasta ahora no están incorporados dentro de los costos nivelados, lo cual se debe, entre otras cosas, a que aún no se cuenta con la suficiente experiencia para dotar de información significativa, hacen falta estadísticas más confiables que revelen más del comportamiento del viento, es necesario mejorar la predictibilidad de la generación, las diferencias entre un proyecto y otro son tan amplias que no permiten generalizar con respecto a estos costos, etcétera (Flores 2014). La variabilidad del viento se presenta como uno de los grandes retos que el aprovechamiento de la eólica deberá prever e incorporar en el desarrollo de sus plantas.

### **1.7 Conclusión**

La mayor parte de la generación de energía eléctrica en México se realiza a través de combustibles fósiles (gas natural, petróleo y carbón), procesos mediante los cuales el sector eléctrico contribuye al cambio climático global por la emisión de gases de efecto invernadero, principalmente de CO<sub>2</sub>.

La creciente necesidad de energía eléctrica como parte fundamental de la actividad económica, con un coeficiente de correlación de 0.98 entre crecimiento del PIB y crecimiento de las ventas de electricidad, y como factor determinante de la calidad de vida de los hogares, vuelve indispensable el incremento de la generación y suministro de aquella.

En la actualidad las reservas de hidrocarburos, sobre todo de petróleo, presentan una tendencia a la baja provocada por la elevada explotación a la que fueron

sometidas para la satisfacción de necesidades humanas, entre las que se incluye la generación de electricidad.

La escasez de petróleo y los precios crecientes de éste, han conducido a elevar la producción eléctrica con gas natural, lo cual es una opción viable a corto plazo, pero en el largo plazo enfrentará los mismos problemas que el petróleo, es decir la carencia del recurso y el continuo deterioro ambiental. Por lo tanto, el gas natural solo representa un combustible de transición, pues es incapaz de ofrecer una solución sostenible a largo plazo.

El progreso de las energías alternativas es el desafío para transformar radicalmente al sector eléctrico nacional, por lo que su desarrollo ha tomado fuerza en los últimos años, aunque a un ritmo aún no lo suficientemente rápido. El incremento del uso de las energías renovables para producir electricidad es una tendencia global guiada principalmente por la preocupación sobre el medio ambiente, aunque también por la posibilidad de contribuir al crecimiento económico y al desarrollo social, así como incrementar el acceso a la energía y la seguridad en el suministro de la misma.

En términos generales, el panorama de la energía eólica muestra tendencias favorables para su consolidación y crecimiento, aunque desde un nivel todavía muy bajo. La eoloeléctrica ha presentado altas tasas de crecimiento en capacidad instalada, tan solo de 2006 a 2012 su tasa de crecimiento promedio fue de 25% a nivel mundial. Las posibilidades de que el aprovechamiento de la energía eólica para producir electricidad siga aumentando son altas, pues el potencial del recurso es tan elevado, que no representa un factor limitante.

Por otra parte, su contribución a la conservación ambiental y como factor mitigante del cambio climático es irrefutable, pese a que se han detectado otro tipo de impactos (emisión de contaminantes tomando en cuenta todo el ciclo de vida, impactos a la biodiversidad, impactos visuales y otros impactos locales como ruido, parpadeo de sombra e interferencia). No obstante, la evidencia empírica

muestra que la producción de electricidad con base en energía eólica evita la emisión de toneladas de gases de efecto invernadero.

Analizando los costos económicos, se tiene que el costo nivelado de la energía eólica ha ganado competitividad. Entre las energías no convencionales la eólica es competitiva. Comparándola con los fósiles, su costo sigue siendo mayor que el de algunos de éstos, como el gas natural, el más utilizado hoy en día en la producción eléctrica. Hasta ahora los costos nivelados no toman en cuenta los costos ambientales de la generación eléctrica, si éstos se incorporan, se estrecharía la brecha entre los costos de generación eólica y los de las energías fósiles hasta ahora más redituables. En el análisis de los costos nivelados, es necesario reconocer otra deficiencia: al día de hoy estos costos no incluyen los costos de la capacidad de respaldo que exige la generación eléctrica con renovables, debido a la variabilidad de los recursos renovables y a la necesidad de ofrecer seguridad en el suministro energético. Es indispensable que cada planta renovable cuente con al menos un porcentaje de capacidad de respaldo, que en la mayoría de los casos es de origen fósil. Poder incorporar estos costos en los costos nivelados, representa uno de los grandes retos que el sector eléctrico ha de enfrentar.

## CAPÍTULO II

### USO Y FOMENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO

#### 2.1 Introducción

Después de analizar en el capítulo anterior los rasgos distintivos de la generación de electricidad en México y las principales características de la energía eólica, en el segundo capítulo estudiaremos la combinación de ambos tópicos, es decir, la energía eólica en México. Y con base en este estudio, se elabora una propuesta para fomentar el aprovechamiento de la eólica en el país.

Como primer punto, se expone el potencial eólico en México, que sumado a la información del capítulo anterior, es el punto de partida para procurar la consolidación y el crecimiento de la eólica. En la tercera sección, se describe y analiza el marco legislativo sobre el cual opera la eoloeléctrica. El siguiente apartado, examina el estatus del aprovechamiento de la eólica, destacando su crecimiento, pero al mismo tiempo destacando sus matices, sus inconvenientes e incluso sus rezagos en el contexto actual. Dadas las condiciones adversas en el tema, se examinan con mayor detalle las externalidades, uno de los aspectos más urgentes a tratar; se exponen sus características, se calcula su valor monetario y se incorpora en los costos. Posteriormente, mediante la construcción de dos escenarios de optimización que buscan reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, se analiza qué tanto las externalidades pueden influir en la conformación de la matriz energética. A la luz de los resultados de las secciones precedentes, se realiza una propuesta para internalizar las externalidades e incentivar el uso de la energía eólica, con el objetivo de minimizar el nivel de emisiones de bióxido de carbono resultantes de la generación de electricidad. Finalmente se realiza un breve análisis de los problemas derivados de la renta de la tierra para la instalación y operación de las plantas eólicas y se hacen algunas sugerencias para mitigarlos.

#### 2.2 El potencial eólico en México

La trayectoria global creciente del aprovechamiento de la energía eólica para generar electricidad, el menor impacto ambiental derivado de este aprovechamiento y la tendencia a la baja de sus costos nivelados, son factores que incentivan al desarrollo de la eoloeléctrica.

Aunado a lo anterior, para el caso de México, es particularmente destacable el gran potencial de generación con el que cuenta, clasificado como uno de los más altos a nivel mundial. El Instituto de Investigaciones Eléctricas estimó el potencial energético del recurso eólico en el país de 71,000 MW, considerando factores de planta superiores a 20% (SENER 2012b). Con el mismo factor de planta, otra estimación realizada por la Agencia Mexicana de Energía Eólica (AMDEE) en conjunto con la Secretaría de Energía (SENER), los consultores de PwC (Price Waterhouse Cooper) y los principales actores de la industria eléctrica, calculó que México cuenta con al menos 50,000 MW de potencia; de ese potencial, entre 10,000 y 20,000 MW serían competitivos en función de la evolución de los precios del gas natural. La instalación de 12,000 MW a 2020, como el escenario propuesto por la AMDEE, contribuiría a reducir más de 21 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en ese año (SENER 2012b: 80). De acuerdo al Reporte Eólico Anual 2011 de la Agencia Internacional de Energía, actualmente se estima que con la aplicación plena de tecnología y con proyectos económicamente viables, se podrían construir más de 12,000 MW de capacidad instalada. Particularmente la región del Istmo de Tehuantepec, en el estado de Oaxaca, es considerada como la región de mayor potencial eólico en el país. La velocidad promedio anual de viento en esta región es de 7 m/s a 10 m/s medido a 30 metros sobre el suelo; característica que conjugada con el uso eficiente de las turbinas eólicas podría dar lugar a un factor de capacidad anual alrededor del 40% (Borja 2012). Tan solo para Oaxaca, los estudios del *National Renewable Energy Laboratory* de Estados Unidos y diversas instituciones mexicanas, han estimado un potencial superior a los 40,000 MW (SENER 2012b). Tamaulipas es otro de los estados con elevado potencial, de acuerdo con declaraciones de la Secretaría de Energía, esa entidad cuenta con un potencial de 21,000 MW de generación eólica (Soto 2013).

Aunque es imposible lograr un consenso generalizado, en cualquiera de los casos, es evidente el gran potencial de generación eoloeléctrica del país. La riqueza del recurso eólico, convierte a México en una nación altamente atractiva en el tema energético mundial. La forma en que se consolide el uso de la energía eólica, tendrá implicaciones más allá de la producción de electricidad, involucrando aspectos de índole económica e incluso social. El reto es hacer crecer la aplicación de la energía eólica y armonizar dicho crecimiento con el resto de los factores que inciden en su sustentabilidad.

### **2.3 Marco legal para el aprovechamiento de la energía eólica en México**

El marco legislativo es y seguirá siendo un factor determinante en el sector. Cuestiones como, tipo de actores permitidos, fuentes lícitamente explotables, costos directos e indirectos, participación del sector privado, participación del sector externo, acuerdos comerciales, fuentes de financiamiento, entre otras, son reguladas por un marco legal, que en combinación con elementos de mercado y aspectos sociales, han dado lugar a lo que hoy en día representa la energía eólica en México. A través de esta sección, se describen y analizan la legislación y la política energética actuales que involucran a la energía eólica en el país.

#### **2.3.1 La reforma a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE)**

Hoy en día, la industria eléctrica mexicana opera como una industria en teoría, nacionalizada. Desde 1960 y hasta finales de 2013, el artículo 27 constitucional establecía que, “Corresponde exclusivamente a la Nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público. En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines...” (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos). Con la promulgación de la reforma energética el pasado 20 de diciembre de 2013, el 27 constitucional en materia de electricidad quedó así: “Corresponde exclusivamente a la Nación la planeación y el control del sistema eléctrico nacional, así como el servicio público de transmisión y distribución de

energía eléctrica; en estas actividades no se otorgarán concesiones, sin perjuicio de que el Estado pueda celebrar contratos con particulares en los términos que establezcan las leyes, mismas que determinarán la forma en que los particulares podrán participar en las demás actividades de la industria eléctrica”<sup>5</sup>(Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos). El 23 de diciembre de 1992, se publicaron en el Diario Oficial de la Federación (DOF), una serie de reformas a la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), las cuales, redefinieron el concepto de servicio público e hicieron posible la entrada de capital privado al terreno de la producción de energía eléctrica.

Entre los principales argumentos que impulsaron esta reforma, Rodríguez Padilla (1999) distingue los siguientes: el progreso tecnológico en turbinas de gas que permitía la instalación de centrales menos intensivas en capital, más eficientes y menos contaminantes, en las que el capital privado con certeza estaría dispuesto a invertir; la tendencia de reorganización de la industria eléctrica en otros países como Estados Unidos en 1978, Chile en 1982 e Inglaterra en 1989, que incitó a un cambio en las reglas de México y; recomendaciones y presiones de instituciones financieras internacionales, de organismos de ayuda multilateral, de la banca internacional y del gobierno de Estados Unidos, insistiendo en la idea de desregulación, liberalización y privatización del sector eléctrico (la amenaza de llevar su capital hacia otros países fue un fuerte factor de persuasión para el gobierno).

Por otra parte, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) señaló a principios de 1992 que la necesidad de una reforma también estaba impulsada por la consolidación de la diversificación de las fuentes de energía para reducir los riesgos de dependencia de una sola tecnología en el país. Después de las dos abruptas elevaciones del precio del petróleo (1974 y 1979); con la primer alza se comenzó a impulsar la diversificación energética, identificando este aspecto principalmente con la opción nuclear; con la segunda alza, la diversificación se

---

<sup>5</sup> Debido a que el cambio constitucional en el artículo 27 es muy reciente, en esta tesis se analiza el comportamiento del sector eléctrico antes de que tenga efecto la mencionada reforma.

hizo más urgente, pero esta vez ya no solo se veía como alternativa a la energía nuclear (Elizalde 1992). En México y en el mundo se comenzó a tomar conciencia sobre la necesidad del uso eficiente de la energía y de la utilización cuidadosa del medio ambiente, lo cual a largo plazo llevaría a incrementar la competitividad industrial; bajo esta perspectiva, la poca capacidad de la CFE para generar energía mediante fuentes renovables no contaminantes<sup>6</sup>, por la falta de recursos y tecnología para desarrollar los proyectos, representó un argumento más a favor de una reforma que permitiera la entrada de capital privado apto para dar solución a estos inconvenientes.

De tal suerte que el artículo 3° de la LSPEE, a partir del 23 de diciembre de 1992, contempla que no se considera servicio público:

- a) La generación de energía eléctrica para autoabastecimiento, cogeneración o pequeña producción;
- b) La generación de energía eléctrica que realicen los productores independientes para su venta a la Comisión Federal de Electricidad;
- c) La generación de energía eléctrica para su exportación, derivada de cogeneración, producción independiente y pequeña producción;
- d) La importación de energía eléctrica por parte de personas físicas o morales, destinada exclusivamente al abastecimiento para usos propios y;
- e) La generación de energía eléctrica destinada a uso en emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica (Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica).

La definición de cada uno de los rubros se modula según los artículos 101 al 123 del Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (RLSPEE) y en concreto se distinguen:

- a) Autoabastecimiento. Utilización de energía eléctrica para fines de autoconsumo siempre y cuando dicha energía provenga de plantas

---

<sup>6</sup> A excepción de la geotérmica que comenzó su desarrollo en el país desde 1973 y actualmente CFE es uno de los mayores productores eléctricos con base en energía geotérmica en el mundo.

destinadas a la satisfacción de las necesidades del conjunto de los copropietarios o socios.

- b) Cogeneración. Producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas; la producción directa o indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos de que se trate; o la producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate.
- c) Producción independiente. Generación de energía eléctrica proveniente de una planta con capacidad mayor de 30 MW, destinada exclusivamente a su venta a la Comisión o a la exportación.
- d) Pequeña producción. Generación de energía eléctrica destinada a la venta a la Comisión de la totalidad de la electricidad generada, en cuyo caso los proyectos no podrán tener una capacidad total mayor de 30 MW en un área determinada por la Secretaría; autoabastecimiento de pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan del servicio de energía eléctrica, en cuyo caso los proyectos no podrán exceder de 1 MW y; exportación, dentro del límite máximo de 30 MW.
- e) Exportación. La Secretaría de Energía otorga permisos de generación de energía eléctrica para destinarse a la exportación, a través de proyectos de cogeneración, producción independiente y pequeña producción que cumplan las disposiciones legales y reglamentarias aplicables según los casos.
- f) Importación. La Secretaría podrá otorgar permisos para adquirir energía eléctrica proveniente de plantas generadoras establecidas en el extranjero mediante actos jurídicos celebrados directamente entre el abastecedor de la electricidad y el consumidor de la misma (Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica).

Los permisos para generar energía eléctrica en cualquiera de las modalidades distintas a la prestación del servicio público, son otorgados o revocados por la

Comisión Reguladora de Energía<sup>7</sup> (Ley de la Comisión Reguladora de Energía). Según los artículos 38 y 39 de la LSPEE, una vez concedidos, éstos tienen una duración indefinida para el autoabastecimiento, la cogeneración, la pequeña producción, la importación y la exportación; mientras que para la producción independiente, el plazo es de 30 años, con posibilidad de ser renovado siempre que cumpla con las disposiciones vigentes. Para el caso del autoabastecimiento que no exceda los 0.5 MW, no es necesario el permiso, a menos que se trate de abastecimiento para comunidades rurales o aisladas. Tampoco se requerirá de permiso para el funcionamiento de plantas generadoras, cualquiera que sea su capacidad, cuando sean destinadas exclusivamente al uso propio en emergencias derivadas de interrupciones en el servicio público de energía eléctrica (Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica).

Es interesante notar que, la larga duración de los permisos, debe estar respaldada por un alto grado de certidumbre para el capital privado, pues éste siempre está en busca de inversiones que minimicen el riesgo. El interés del Estado por atraer capital privado, lo ha llevado a generar condiciones que incentiven la participación de éste en la producción de electricidad, sin embargo ha provocado un desequilibrio frente a la labor del generador de energía eléctrica para el servicio público nacional, la Comisión Federal de Electricidad. Así, el artículo 36 de la LSPEE compromete a la CFE a adquirir la electricidad de los productores independientes, quedando legalmente obligada a adquirirla en los términos y condiciones que se convengan; así mismo, las modalidades de cogeneración y autoabastecimiento son obligados a poner sus excedentes a disposición de la Comisión Federal de Electricidad. Con la aplicación de esta ley, en pocas palabras, la CFE asume el compromiso de comprar la energía producida a todos los permisionarios que estén operando, con el evidente riesgo de dejar de ser el productor nacional de electricidad, para convertirse en el cliente seguro del capital privado.

---

<sup>7</sup> Facultad otorgada a la CRE en 1995 (SENER 2013a), sin embargo en la LSPEE vigente aún en el artículo 36 menciona que los permisos son otorgados por la SENER.

Entonces, la Comisión Federal de Electricidad es la única institución que puede suministrar energía eléctrica para el servicio público nacional, aunque para hacerlo, se puede servir no solamente de la energía que la misma Comisión genera, sino también de la importación y de las compras que realiza a los productores independientes, a los pequeños productores, a los cogeneradores o a los que operan como autoabastecimiento.

### **2.3.2 La reforma agraria de 1992**

Particularmente para la eólica, además de la reforma que permitió la entrada al capital privado en la generación de electricidad, en 1992 ocurrió otra reforma que definiría en gran medida el rumbo de su desarrollo: la reforma agraria. Debido a que la energía eólica onshore, la que actualmente es más explotada, necesita invariablemente de extensiones de terrenos sobre los cuales instalar sus plantas, la propiedad de la tierra juega un papel importante en esta industria.

En enero de 1992, fue publicado en el DOF, un decreto presidencial a través del cual se reformó el artículo 27 constitucional y unos meses después se promulgó una Nueva Ley Agraria. Una de las modificaciones sustantivas y de particular interés para esta investigación, quedó plasmada en el artículo 27, fracción VII, que a partir de dicha reforma, enuncia que:

“Se reconoce la personalidad jurídica de los núcleos de población ejidales y comunales y se protege su propiedad sobre la tierra, tanto para el asentamiento humano como para actividades productivas... La ley, con respeto a la voluntad de los ejidatarios y comuneros para adoptar las condiciones que más les convengan en el aprovechamiento de sus recursos productivos, regulará el ejercicio de los derechos de los comuneros sobre la tierra y de cada ejidatario sobre su parcela. Asimismo establecerá los procedimientos por los cuales ejidatarios y comuneros podrán asociarse entre sí, con el Estado o con terceros y otorgar el uso de sus tierras; y, tratándose de ejidatarios, transmitir sus derechos parcelarios entre los miembros del núcleo de población; igualmente fijará los requisitos y procedimientos conforme a los cuales la asamblea ejidal otorgará al ejidatario el

dominio sobre su parcela.” (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos).

Los argumentos que dieron paso a esta reforma, fueron la baja productividad del sector agrícola, pues basado en minifundios, había llegado al extremo de ser improductivo, manteniendo al campo sumido en la pobreza, el autoconsumo, la falta de inversión y el escaso uso de la tecnología. Así, el gobierno en turno consideró la opción de modernizar al campo, lo cual, según éste, se lograría a través de la afluencia de capitales de distintos sectores de la economía para elevar la productividad agrícola. Por ello se reformó el artículo 27, para brindar al capital privado la posibilidad de obtener libremente tierras, que anteriormente estaban negadas como negociables. La personalidad jurídica para las tierras ejidales y comunales y los derechos de propiedad bien definidos, hacen mucho más sencillo el proceso para quien desea realizar cualquier transacción con la tierra.

En pocas palabras, esta reforma permite que personas ajenas a la comunidad adquieran tierras de ella y se conviertan en comuneros, por otro lado, faculta a la asamblea de comuneros a cambiar al régimen ejidal, y más aun, ya como ejido, renunciar a este régimen quedando los bienes comunales en calidad de propiedad privada (Leyva 1992).

Una consecuencia inmediata de esta decisión fue que se detuvo el reparto de tierras que había sido ordenado en la reforma agraria anterior. Con una población creciente y un recurso escaso, la continuación del reparto resultaba inviable. De tal forma, cambios en la asignación de la propiedad de la tierra, se tratarían prácticamente como otro bien de mercado. Y al adquirir derechos sobre las propiedades, el uso de éstas estaría definido por cada propietario, pues se abrió la posibilidad de extender sus usos más allá del uso agrícola, entre ellos actividades económicas relacionadas con el aprovechamiento de los recursos naturales.

A partir de 1993, se da mayor libertad al ejidatario mediante la concesión del “pleno dominio” de la tierra, a través del Programa de Certificación y Derechos

Ejidales (PROCEDE) el cual excluye a la pequeña propiedad y a las tierras comunales. PROCEDE otorgó los títulos de propiedad individuales por parcela, logrando que el ejidatario en los hechos se convirtiera en un pequeño propietario al interior del ejido, porque a partir de entonces, la parcela le corresponde solo a él. La finalidad era facilitar la compra o el arrendamiento de la propiedad ejidal, que una vez fragmentada en pequeñas propiedades privadas, permitiría que más tarde fueran compactadas en grandes extensiones de tierra por las grandes empresas, quienes realmente han tenido la capacidad económica para comprarlas o arrendarlas en esas dimensiones (Peto 2013).

La discusión sobre qué tan provechosa resultó la reforma para el campo, es ampliamente discutida. No obstante, es un hecho que con dicha reforma, hoy en día es posible por ejemplo, arrendar tierras para construir plantas eólicas, pues existen condiciones de certidumbre jurídicas, que el capital ha sabido aprovechar. El modo en el que se realizan las operaciones, representa parte importante de los impactos económicos y sociales de la eólica, ya que el arrendamiento de las tierras es, por un lado, al menos una fracción de los costos nivelados en que incurre el inversionista, mientras que por otra parte representa la renta que se les paga a los dueños de los terrenos, por lo tanto, parte de las cadenas de valor que genera la industria eoloeléctrica.

### **2.3.3 Los esquemas de financiamiento**

Sin lugar a dudas, uno de los principales motivos que impulsaron las reformas del 92, fueron las limitaciones en materia presupuestal. Por ello se abrió la posibilidad de participar en el financiamiento y en la realización de las obras a cargo de Comisión Federal de Electricidad (CFE). Así surgieron los esquemas de financiamiento Construir, Arrendar y Transferir (CAT) y Obra Pública Financiada (OPF). En los esquemas CAT, el diseño, el financiamiento y la construcción de la planta se realizaban con recursos de la inversión privada, conforme a especificaciones técnicas y a través de un proceso de licitación. Una vez en funcionamiento, la planta se rentaba a la Comisión Federal de Electricidad por 25

años y al término de este periodo, la propiedad se transferiría a dicha empresa. Durante el periodo que durara el alquiler, la CFE era responsable de la operación y el mantenimiento de la planta. En el curso de 1998 la CFE dejó de aplicar el esquema Construir, Arrendar y Transferir para reemplazarlo por el de Obra Pública Financiada, en el cual, también mediante proceso de licitación, el proyectista realiza todas las inversiones y cuando las instalaciones están listas, la CFE debe liquidar el monto total de la inversión mediante obtención de financiamiento a largo plazo. Este nuevo esquema se implementó con la finalidad de limitar el financiamiento del contratista a la etapa de construcción, pues se consideraba que el organismo podía ya obtener términos más favorables en la contratación de los financiamientos de largo plazo (CEPAL 2001; Sánchez et al. 2003).

En diciembre de 1994, se realizó una reforma a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, mediante la cual se le encargó a la Secretaría de Energía, la promoción de la participación de los particulares en la generación, la cogeneración y el abastecimiento de energía eléctrica (Ceyca y Romero 2006).

En febrero de 1996 se creó la Unidad de Promoción de Inversiones (UPI) para que el sector privado contara con atención y gestión para sus iniciativas (Ceyca y Romero 2006).

En 1997 se creó un nuevo esquema de financiamiento para los agentes privados que invierten en el sector energético, llamado Proyecto de Infraestructura Productiva de Impacto Diferido en el Programa de Gasto, también conocido como, Proyectos de Infraestructura Productiva de Largo Plazo o PIDIREGAS, los cuales se definen como aquellas inversiones que realizan algunas entidades del sector paraestatal bajo control presupuestario directo, con financiamiento privado de largo plazo, para constituir activos generadores de ingreso cuyo impacto presupuestario se difiere en los subsecuentes ejercicios fiscales (SHCP 2001). Para que un proyecto pueda ser realizado como PIDIREGA, es necesario que los recursos que genere por la venta de bienes y servicios sean suficientes para cubrir las obligaciones financieras contraídas. Así, en cumplimiento del marco legal, solo

aquellos proyectos que en el análisis de prefactibilidad que realizan las entidades, tengan una rentabilidad demostrada, y que correspondan a actividades prioritarias o estratégicas en los términos que señala la Constitución, podrán calificar para que su financiamiento y registro de gasto se realice conforme a esta modalidad (SHCP 2013).

Los Pidiregas se dividen en dos categorías (SHCP 2013):

1. De inversión directa. Proyectos en los que, las entidades públicas asumen una obligación directa y firme de adquirir ciertos activos productivos construidos a su satisfacción por empresas privadas. Para cubrir los compromisos adquiridos, el Ejecutivo Federal debe incorporar en el proyecto de presupuesto, las previsiones de gasto asociadas a estas inversiones. Asimismo, al tratarse de activos que son operados directamente por la entidad pública, su gasto de operación forma parte del gasto programable propuesto.
2. De inversión condicionada. Proyectos en los que la adquisición de los activos que son de propiedad privada, es producto de la materialización de alguna eventualidad contemplada en un contrato de suministro de bienes o servicios. Este tipo de inversión, no implica un compromiso inmediato y firme de inversión por parte de la entidad pública, pero sí la compra de los bienes y servicios producidos con activos propiedad de empresas del sector privado, que fueron construidos bajo especificaciones técnicas definidas por la entidad contratante. Bajo ciertas condiciones explícitas en los contratos, y principalmente asociadas a incumplimientos de pago o causas de fuerza mayor, la entidad estaría obligada a adquirir dichos activos. Es esa adquisición condicionada la que es susceptible de tener el tratamiento de proyecto de infraestructura productiva de largo plazo.

De tal forma, mediante el financiamiento con PIDIREGAS, los esquemas de Obra Pública Financiada entran como inversión directa, mientras que los Productores Independientes de Energía se registran como inversión condicionada.

El análisis de la viabilidad de los esquemas PIDIREGAS es complejo, pues ofrecen simultáneamente ventajas y desventajas para el país y específicamente para el sector eléctrico. Por una parte es un hecho que la CFE no genera suficientes recursos para soportar la creciente demanda de electricidad; por lo que la creación de esquemas de financiamiento es evidentemente necesaria. De tal suerte, con el financiamiento privado mediante PIDIREGAS, es posible realizar inversiones para desarrollar infraestructura eléctrica, al mismo tiempo que permite ampliar el gasto público debido a que el pago queda diferido en los ejercicios fiscales subsecuentes. Igualmente resulta favorable que la fuente de pagos es el flujo de recursos generados por el proyecto. Además al ser registrado como un pasivo contingente, evita su registro en la deuda pública.

Sin embargo, los PIDIREGAS presentan también aspectos desfavorables. En primer lugar es notable que, al ser el Estado quien asume el riesgo, implica que el capital privado no hace una verdadera inversión. Los inversionistas privados, en su mayoría empresas transnacionales, cuentan con un aval gubernamental que les garantiza sus inversiones porque existe una cláusula que las libera de toda responsabilidad en caso de surgir algún obstáculo que afecte el proyecto, y obliga al gobierno mexicano, mediante la CFE en la mayoría de los casos, a asumir los riesgos y la deuda financiera de los proyectos (Cámara de Diputados 2003).

Este esquema ha permitido hacer frente a las necesidades de inversión en el corto plazo, pero no garantiza las mejores condiciones para el Estado en el mediano y largo plazos; es un paliativo pero no una solución permanente al problema de la expansión de la industria eléctrica. Los PIDIREGAS no pueden utilizarse de forma indefinida, pues la deuda crecería exponencialmente hasta llegar a un punto insostenible para las entidades, ya que la relación pasivo capital en sus estados financieros no soportaría el nivel de endeudamiento. Una desventaja más es que, los contratos firmados con los productores independientes obligan a pagar el precio acordado en el contrato a lo largo de la vida del proyecto, por lo que el Estado no podría aprovechar una eventual reducción de costo de generación derivada del desarrollo tecnológico en los próximos años. Por otro lado, aunque

estos contratos constituyen pasivos contingentes para el Estado, los mercados internacionales de capital lo consideran un riesgo, sobre todo tomando en cuenta el altísimo nivel de la deuda del gobierno federal (CEPAL 2001).

La decisión sobre la continuación, modificación o eliminación de los esquemas PIDIREGAS es un tema muy debatido; lo que sigue siendo un hecho, es que existe la necesidad de atraer a más inversionistas y aportar mayor dinamismo al sector eléctrico.

De manera complementaria, existen instituciones que colaboran en la labor de financiamiento. Nacional Financiera, S.N.C. (NAFINSA) se encarga de financiar el desarrollo de proyectos de energía renovable 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. El Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. (BANOBRAS), es un banco de desarrollo que trabaja con el sector público y privado a través del financiamiento de proyectos de infraestructura y servicios públicos de los gobiernos locales, apoya su fortalecimiento financiero e institucional y promueve la inversión y financiamiento privado. El Banco Nacional de Comercio Exterior, S.N.C. (BANCOMEXT) cuenta con fondeo externo para proyectos sustentables a largo plazo que incluyen proyectos de generación de energía renovable, protección y mejora ambiental y Mecanismos de Desarrollo Limpio (SE 2013a).

### **2.3.4 Financiamientos internacionales**

Existe también un flujo de recursos derivados de los mecanismos internacionales de financiamiento relacionados con la mitigación del cambio climático, de los cuales el Ejecutivo Federal es el encargado de diseñar e instrumentar políticas y medidas para atraerlos (Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética). Estos financiamientos han jugado un papel importante en el desarrollo de proyectos eoloeléctricos.

Uno de ellos fue el Plan de Acción para Eliminar Barreras para el Desarrollo de la Generación Eoloeléctrica en México, el cual fue aprobado en 2004 por el Fondo para el Medio Ambiente Global (GEF, por sus siglas en inglés), como apoyo económico a fondo perdido. El proyecto fue ejecutado por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Mediante este proyecto se realizaron una serie de foros de promoción y difusión de la generación eoloeléctrica en varias entidades federativas del país. Como parte de las actividades se instaló y operó una red de estaciones anemométricas, para evaluar el recurso eólico en sitios prometedores; se impartió un curso a personal clave de las principales instituciones de educación superior de entidades federativas, con recurso eólico; se impartió un diplomado y un curso en generación eoloeléctrica a instituciones de educación media superior, con orientación técnica, en la región sureste; se apoyaron los “Coloquios Eólicos” organizados por el Gobierno del Estado de Oaxaca; se apoyó a diversas instituciones para complementar acciones con valor estratégico, y se construyó la infraestructura básica del primer CERTE, Centro Regional de Tecnología Eólica (Borja 2008). Entre las acciones de este proyecto, estuvo también llevar a cabo el Taller de Ruta Tecnológica de la Energía Eólica en México para los próximos 25 años. La visión del taller fue que, “en el año 2030, la energía eólica contribuye significativamente al suministro energético nacional, con tecnología propia de clase mundial”; para el logro de ésta se establecieron un conjunto de objetivos, metas y estrategias, a corto, mediano y largo plazos (IIE 2005). A ocho años de llevarse a cabo dicho taller, hoy desafortunadamente se verifica como los objetivos planteados a corto plazo no se pudieron materializar en las dimensiones y plazos propuestos, por ende los de mediano y largo plazo tienen posibilidades aún más reducidas de ser alcanzables.

La creación del CERTE, tuvo como objetivos primordiales, entre otros, apoyar a fabricantes de aerogeneradores interesados en la caracterización y mejora tecnológica de sus productos bajo condiciones locales, capacitar a ingenieros y personal técnico para la operación y mantenimiento de aerogeneradores y

centrales eólicas, conformar una plataforma de demostración, validación y evaluación, facilitando el encuentro entre fabricantes de aerogeneradores y compañías mexicanas, así como identificar y promover convenios para la fabricación local de partes para aerogeneradores y/o emprender negocios de riesgo compartido (IIE 2013). Los resultados obtenidos por el CERTE hasta ahora son inciertos.

Otro financiamiento sobresaliente aprobado en 2006, fue el Proyecto de Energía Renovable a Gran Escala (PERGE), financiando por el GEF, ejecutado por la SENER e implementado por el Banco Mundial. El objetivo del proyecto fue ayudar a México en su primera experiencia en el mercado basado en aplicaciones de energía renovable conectada a la red mediante el apoyo en la construcción del parque eólico y, al mismo tiempo, crear capacidad institucional para valorar, adquirir y gestionar dichos recursos de manera replicable. El financiamiento se distribuyó en dos fases: la primera con 25 millones de dólares y la segunda con 45 millones de dólares. En la primera fase, el objetivo concreto fue crear un parque eólico bajo la modalidad de producción independiente; mientras que en la segunda, con base en los resultados de la primera, replicar el proyecto y la reducción de costos con eólica y con tecnologías de energía renovable adicionales. La primera fase del proyecto contempló otorgar apoyo económico no reembolsable a la empresa privada que ganara la licitación que emitió la CFE, quien acotó la capacidad del proyecto a 101 MW; lo anterior derivó en la construcción del parque eólico La Venta III. El apoyo económico incluyó tres componentes: 1) un mecanismo de financiamiento de 20.4 millones de dólares para reducir los costos mediante la provisión de 1.1 centavos de dólar por cada kWh que se facturaría durante los primeros cinco años de operación de la central; 2) asistencia técnica valuada en 3.9 millones de dólares para estimular proyectos de inversión de productores independientes y de autoabastecedores de energía renovable y; 3) apoyo a la SENER en coordinación con NAFINSA en la gestión del proyecto por 0.7 millones de dólares. El apoyo fue pensado para que, junto con el

pago que realizara la CFE al productor independiente, el proyecto resultara rentable para el inversionista (Borja 2008; WB 2006).

### **2.3.5 Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento para la Transición Energética (LAERFTE)**

En octubre de 2008, tuvo lugar la aprobación de otra reforma energética, en la cual tuvo mayor presencia el sector petrolero que el eléctrico, siendo para este último lo más trascendente la creación de una nueva ley para regular a las energías renovables. El 28 de noviembre de 2008 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE) y el 02 de Septiembre de 2009 su reglamento (RLAERFTE). La LAERFTE busca regular el aprovechamiento de las energías renovables y las tecnologías limpias para la generación de electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público, así como la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética. A través de esta ley, el Estado pretende promover la eficiencia y sustentabilidad energética, así como la reducción de la dependencia de los hidrocarburos como fuente primaria de energía (Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética).

Con esta reforma, más que cambiar tajantemente la forma de operar del sector eléctrico, se adicionaron nuevas responsabilidades a las instituciones involucradas, con la finalidad de mejorar el desempeño de los participantes privados en la generación de electricidad con fuentes renovables. La LAERFTE ordena a la SENER:

- Elaborar y coordinar la ejecución del Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables, para lo cual deberá establecer objetivos y metas específicas para el aprovechamiento de energías renovables, así como definir las estrategias y acciones necesarias para alcanzarlas; las metas de participación de las energías renovables deberán aumentar gradualmente sobre bases de viabilidad económica y potencial

técnico existente. En este Programa, se deberán incluir en las metas la mayor diversidad posible de energías renovables, tomando en cuenta su disponibilidad en las distintas regiones del país y los ciclos naturales de dichas fuentes. En la elaboración del Programa, la SENER considerará los beneficios económicos netos potenciales de generarse por el aprovechamiento de las energías renovables.

- En coordinación con la Secretaría de Economía (SE), deberán definir las políticas y medidas para fomentar una mayor integración nacional de equipos y componentes para el aprovechamiento de energías renovables y su transformación eficiente.
- Establecer y actualizar el Inventario Nacional de Energías Renovables, el cual integra información sobre el potencial de las distintas fuentes de energías renovables en México y sus beneficios económicos.
- Elaborar, con la opinión de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y de la Secretaría de Salud (SSA), una metodología para valorar las externalidades asociadas con la generación de electricidad, basada en energías renovables y no renovables en sus distintas escalas<sup>8</sup>.
- Establecer la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, mecanismo mediante el cual el Estado impulsará las políticas, acciones, programas y proyectos encaminados a lograr los objetivos que se plantea la LAERFTE. La Estrategia promoverá la utilización, el desarrollo y la inversión en energías renovables y la eficiencia energética. Así mismo, la Estrategia comprenderá los mecanismos presupuestarios para asegurar la congruencia y consistencia de sus acciones y consolidará en el Presupuesto de Egresos de la Federación las provisiones de recursos del sector público encaminados a sus objetivos.

---

<sup>8</sup> La metodología para la valoración de la externalidades, refuerza el contenido de la LSPEE, donde también se menciona la necesidad de considerarlas. Sin embargo, esto queda desarticulado con la Ley de la CRE y los lineamientos de la CFE, pues para ambas Comisiones, lo primordial es que la prestación del servicio público de energía eléctrica sea a un costo mínimo.

- Crear el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, que tiene como objetivo impulsar el sector energético del país mediante proyectos, programas y acciones que promuevan el desarrollo de las energías renovables y la eficiencia energética.

Por otra parte, el RLAERFTE prescribe a la Comisión Reguladora de Energía (CRE) a establecer la “Metodología de contraprestaciones para el pago a los generadores de energías renovables”, mediante la cual se establecen los precios máximos y mínimos con los que el suministrador (CFE) podrá adjudicar los contratos de generación de electricidad en los esquemas de pequeño productor y productor independiente que estén interconectados al sistema eléctrico nacional en alta o media tensión, así como también la contraprestación (remuneración) que les pagará a las empresas ganadoras. Se pretende transparentar el proceso y ofrecer certidumbre a los interesados en la generación con renovables, evitar prácticas discriminatorias en las actividades reguladas y permitir la obtención de una utilidad razonable a los interesados en generar electricidad con fuentes renovables (SE 2013a).

### **2.3.6 Interconexión a la red**

Cuando los productores generan electricidad, es necesario que las centrales eólicas se conecten al sistema eléctrico nacional para poder realizar el suministro. Debido a la intermitencia de las fuentes de energía renovables, se establecieron reglas especiales, plasmadas básicamente en el Contrato de Interconexión para Fuentes de Energías Renovables o Cogeneración Eficiente y en su caso, en el Convenio para el Servicio de Transmisión de Energía Eléctrica para Fuente de Energía Renovable.

El Contrato de Interconexión para centrales de generación de electricidad con energías renovables o cogeneración eficiente, estipula que la energía sobrante producida por los permisionarios en un mes determinado puede ser vendida al suministrador en ese mismo mes que se generó, o acumulada en el Banco de

Energía de la Comisión Federal de Electricidad para su aprovechamiento o venta en los siguientes 12 meses. El Banco de Energía es un mecanismo de intercambio de energía para reducir el problema de la intermitencia en la generación de energía eléctrica, aprovechando al máximo los recursos energéticos disponibles, para después intercambiarla en aquellos periodos en los que sea insuficiente la generación propia. Así, la energía generada en cualquier periodo horario y no consumida por los usuarios puede ser “acumulada” (en forma virtual) por CFE y “entregada” en otros periodos horarios análogos, en periodos distintos o en días o meses diferentes (CRE 2010; 2011; SENER 2009). Las posibilidades de uso de la energía sobrante y de compensación de faltante son elementos favorables para la generación con renovables, ya que debido a la intermitencia de estas fuentes, no es posible generar siempre los mismos niveles de energía.

### **2.3.7 Temporada abierta**

Para interconectarse a la red es indispensable la infraestructura de líneas de transmisión. Sin las líneas de transmisión, es imposible la evacuación de la energía eléctrica generada, por lo que en este escenario, los desarrolladores privados se negaban a cerrar los contratos si no tenían la capacidad de porteo garantizada y la CFE se negaba a comprometer sus fondos públicos para la construcción de la nueva infraestructura, si no contaba con el compromiso en firme del pago de la nueva capacidad.

Dado que la carencia o insuficiencia de estas líneas representa una barrera al crecimiento de la eólica, en 2006 fue creada la estrategia denominada “Temporada Abierta”. Ésta consiste en que un conjunto de empresas privadas se compromete firmemente con la CFE (actuando cada empresa individualmente) a pagar por la capacidad de transmisión que usarían de una línea de transmisión y subestaciones eléctricas asociadas, para transmitir hasta 2 mil MW de capacidad a 400 KV y con base en dichos compromisos, la CFE construye la infraestructura necesaria con presupuesto ya autorizado por el H. Congreso de la Unión. Asimismo se acordaron esquemas mediante los cuales se pueden construir

algunos proyectos eoloeléctricos del sector privado, reforzando la infraestructura existente por parte de los permisionarios (Borja 2008).

De tal modo, la Temporada Abierta es una especie de reserva de capacidad de transmisión por parte de los desarrolladores ante la CRE, que es la encargada de emitir la convocatoria, previamente a que la CFE construya la infraestructura. Así, el Estado proporciona la infraestructura a la iniciativa privada como un apoyo para eliminar las barreras técnicas.

En la convocatoria lanzada en 2006 para proyectos eólicos para el estado de Oaxaca, se reservaron más de 2,600 MW, de los cuales 2,000 MW correspondieron a proyectos privados y el resto a CFE. La segunda convocatoria expedida en 2011, incluye proyectos eólicos en los estados de Oaxaca, Tamaulipas y Baja California e hidroeléctricos en Puebla; se espera que este proceso termine en 2013 (SE 2013a).

### **2.3.8 Incentivos a la inversión**

Tarifa preferencial que se ofrece por servicio de transmisión. Consiste en un subsidio otorgado a las renovables y a la cogeneración eficiente, el cual establece un precio preferente para éstas de 0.14 pesos/kWh, en lugar de 0.30-0.40 pesos/kWh que es la tarifa de transmisión que se cobra por energía basada en fuentes tradicionales (SE 2013a).

Con respecto a la compra y venta de maquinaria y equipo, se estableció el Arancel Cero, 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 para investigación y desarrollo tecnológico (SE 2013a).

Por otra parte, la Ley del Impuesto Sobre la Renta ordena la depreciación acelerada<sup>9</sup> al 100% para estos equipos. Contempla la posibilidad de depreciación acelerada en maquinaria y equipo para generación de energía proveniente de fuentes renovables, es decir, que los inversionistas en este tipo de activo fijo, deduzcan al 100% su inversión en un solo ejercicio; la condición es que la maquinaria y equipo se encuentren en operación o funcionamiento durante un periodo mínimo de 5 años inmediatos siguientes al ejercicio en el que se efectúe la deducción. Esta medida está vigente desde diciembre de 2004, y pese a que la reciente propuesta de reforma hacendaria del Poder Ejecutivo planteaba eliminarla, en la reforma hacendaria promulgada el 11 de diciembre de 2013, el artículo 34, fracción XIII, continúa manteniendo este incentivo (Ley del Impuesto Sobre la Renta; Red Política 2014).

#### **2.4 El aprovechamiento de la energía eólica en México**

Las reglas que el Estado ha configurado, los apoyos financieros y las tendencias mundiales, han dado paso al crecimiento de la producción eoloeléctrica en México, tanto en la modalidad de servicio público, como en formas distintas a éste. La eólica ha logrado ampliar su participación en la generación de electricidad, de tal modo que, al primer trimestre de 2013, el total de la capacidad eólica instalada en operación fue de 1,381 MW, mientras que al cierre de 2011 fue solo de 965 MW, es decir en poco más de un año, su tasa de crecimiento fue de 43% (CRE 2013). Sin embargo, el sector eólico enfrenta múltiples retos.

##### *Servicio Público*

En 1994, la Comisión Federal de Electricidad decidió instalar la central eólica La Venta I, primer proyecto en su tipo en el país y en América Latina, con el cual se comprobó el potencial de la región atrayendo importantes inversiones para el desarrollo de nuevos parques de generación eólica. Posteriormente, CFE instaló

---

<sup>9</sup> La depreciación acelerada es un mecanismo que permite deducir la pérdida de valor del activo en un cierto plazo, es decir, corresponde a la porción de la inversión que se puede deducir del impuesto sobre la renta en cualquier año dado (Borja et al. 2005).

La Venta II. Más tarde, bajo la modalidad de PIE's, fueron instaladas La Venta III, Oaxaca I, Oaxaca II, Oaxaca III y Oaxaca IV, las cuales después de periodos de pruebas, paulatinamente fueron puestas en operación en su totalidad, conformando así una capacidad de generación total destinada al servicio público de casi 600 MW al final de 2012 (CFE 2012a; Olson 2012).

De los siete proyectos existentes, seis de ellos fueron financiados bajo esquemas PIDIREGAS: La Venta II como inversión directa, mientras que La Venta III, Oaxaca I, Oaxaca II, Oaxaca III y Oaxaca IV como inversión condicionada (SHCP 2013).

El Cuadro 2.1 resume información relevante de estos proyectos. En éste, podemos observar, cómo la mayor parte de la producción corre por cuenta del sector privado (PIE's), quedando marginada la participación de la Comisión Federal de Electricidad en el rubro, pues solo las centrales La Venta I y La Venta II corresponden a CFE. Nótese además que tanto los productores independientes como los fabricantes de las turbinas eólicas son extranjeros. Por lo tanto además de dejar al sector eólico en manos del capital privado, se deja en manos del capital privado externo.

**Cuadro 2.1**  
Centrales eólicas instaladas para abastecer energía eléctrica para la prestación de servicio público

Central	Modalidad	Desarrollador	Aerogeneradores	N° de aerogeneradores	Capacidad de producción por cada uno (kW)	Capacidad de producción total (MW)
La Venta I	Obra Pública Financiada	CFE	Vestas	7	225	1.58
La Venta II	Obra Pública Financiada	CFE	Gamesa	100	850	85.00
La Venta III	Productor Independiente	Iberdrola	Gamesa	121	850	102.85
Oaxaca I	Productor Independiente	Grupo ACS	Vestas	51	2,000	102.00
Oaxaca II	Productor Independiente	Acciona	Acciona	68	1,500	102.00
Oaxaca III	Productor Independiente	Acciona	Acciona	68	1,500	102.00
Oaxaca IV	Productor Independiente	Acciona	Acciona	68	1,500	102.00
<i>Total</i>						597.43

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la CFE (2012a) y de la AMDEE (2010).

Es claro que a partir de las reformas de 1992, la generación eléctrica por parte del capital privado es una posibilidad abierta. Pero, al cabo del tiempo, éste ha ganado tal terreno que, al menos para el caso de la eólica, en 2012 la CFE compró a los productores independientes más del 89% de la producción eoloeléctrica nacional destinada a abastecer al servicio público, la CFE produjo

## II. USO Y FOMENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO

casi 188 GWh, mientras que los PIE's produjeron poco más de 1,556 GWh (SIE 2013b).

### Sector privado

Las modalidades de generación de energía eléctrica distintas a la prestación del servicio público, como la pequeña producción, el autoabastecimiento y la exportación, figuran también como generadores de electricidad mediante el aprovechamiento de energía eólica. De hecho, estas modalidades han sido el motor que hasta ahora ha participado mayoritariamente en la generación eoloeléctrica.

Cuadro 2.2  
Permisos de generación de energía eléctrica con base en energía eólica administrados al 31 de marzo de 2013

Permisario	Modalidad	Capacidad autorizada (MW)	Energía autorizada (GWh/Año)	Inversión (M US\$)	ACTIVIDAD ECONOMICA	ESTADO ACTUAL	UBICACION DE LA PLANTA
FUERZA EÓLICA DEL ISTMO, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	80.000	350.00	160,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN OPERACION	OAXACA
ELÉCTRICA DEL VALLE DE MÉXICO, S. DE R. L. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	67.500	365.16	135,000.00	MUNICIPAL	EN OPERACION	OAXACA
PARQUES ECOLÓGICOS DE MÉXICO, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	101.900	312.00	203,800.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN OPERACION	OAXACA
EOLIATEC DEL ISTMO, S. A. P. I. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	164.000	642.00	328,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN CONSTRUCCION	OAXACA
EURUS, S. A. P. I. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	300.000	876.00	600,000.00	CEMENTERO	EN OPERACION	OAXACA
BII NEE STIPA ENERGÍA EÓLICA, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	26.350	100.13	52,700.00	ALIMENTOS	EN OPERACION	OAXACA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS	PEQUEÑO PRODUCTOR	5.000	21.90	10,000.00	PEQUEÑO PRODUCTOR	EN OPERACION	OAXACA
EOLIATEC DEL PACÍFICO, S. A. P. I. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	160.000	600.00	320,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN CONSTRUCCION	OAXACA
EÓLICA SANTA CATARINA, S. DE R. L. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	22.000	45.00	44,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN CONSTRUCCION	NUEVO LEON
FUERZA Y ENERGÍA BII HIOXO, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	234.000	700.68	468,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	OAXACA
ENERGÍA ALTERNA ISTMEÑA, S. DE R. L. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	215.650	943.60	431,300.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN CONSTRUCCION	OAXACA
DESARROLLOS EÓLICOS MEXICANOS DE OAXACA 1, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	90.000	333.02	180,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN OPERACION	OAXACA
MUNICIPIO DE MEXICALI	AUTOABASTECIMIENTO	10.000	27.00	20,000.00	MUNICIPAL	EN OPERACION	BAJA CALIFORNIA
COMPAÑÍA EÓLICA DE TAMAUJIPAS, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	54.000	213.00	108,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	TAMAUJIPAS
MPG RUMOROSA, S. A. P. I. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	72.000	220.75	144,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN CONSTRUCCION	BAJA CALIFORNIA
ENERGÍA EÓLICA MAREÑA, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	180.000	776.00	360,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	OAXACA
GRUPO SOLUCIONES EN ENERGÍAS RENOVABLES SOE DE MÉXICO, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	161.000	521.90	322,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN CONSTRUCCION	TAMAUJIPAS
DOMINICA ENERGÍA LIMPIA, S. DE R. L. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	200.000	620.00	400,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	SAN LUIS POTOSI
FUERZA VIENTO PAPALOAPAN, S. A. P. I. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	40.000	126.00	80,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	VERACRUZ
STIPA NAYAA, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	74.000	292.00	148,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN OPERACION	OAXACA
VENTIKA, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	126.000	330.00	252,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	NUEVO LEON
EÓLICA DE ARRIAGA, S. A. P. I. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	28.800	92.00	57,600.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN OPERACION	CHIAPAS
ENERGÍA SIERRA JUÁREZ, S. DE R. L. DE C. V.	EXPORTACIÓN	156.000	403.10	312,000.00	EXPORTACION	EN CONSTRUCCION	BAJA CALIFORNIA
VENTIKA II, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	126.000	330.00	252,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	NUEVO LEON
DESARROLLOS EÓLICOS MEXICANOS DE OAXACA 2, S. A. P. I. DE C. V., PARQUE EÓLICO PIEDRA LARGA FASE 2	AUTOABASTECIMIENTO	137.500	508.75	275,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	OAXACA
COMPAÑÍA EOLOELÉCTRICA DE CIUDAD VICTORIA, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	50.000	175.00	100,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	TAMAUJIPAS
EÓLICA ZOPILOAPAN, S. A. P. I. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	70.000	254.45	140,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN CONSTRUCCION	OAXACA
COMPAÑÍA EÓLICA SAN ANDRES, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	26.000	92.00	52,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	TAMAUJIPAS
COMPAÑÍA EÓLICA PRAXEDIS, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	58.000	198.00	116,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	TAMAUJIPAS
COMPAÑÍA EÓLICA VICENTE GUERRERO, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	60.000	204.00	120,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	TAMAUJIPAS
COMPAÑÍA EÓLICA LA MESA, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	28.000	98.00	56,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	POR INICIAR OBRAS	TAMAUJIPAS
GENERADORES EÓLICOS DE MÉXICO, S. A. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	10.000	27.00	20,000.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN CONSTRUCCION	CHIAPAS
ENERGÍA SONORA PPE, S. C.	PEQUEÑO PRODUCTOR	1.800	6.70	3,600.00	PEQUEÑO PRODUCTOR	EN CONSTRUCCION	SONORA
EÓLICA LOS ALTOS, S. A. P. I. DE C. V.	AUTOABASTECIMIENTO	50.400	170.00	100,800.00	INDUSTRIAS DIVERSAS	EN CONSTRUCCION	JALISCO
WIND POWER DE MÉXICO, S. A. DE C. V.	EXPORTACIÓN	300.800	998.00	601,600.00	EXPORTACION	EN CONSTRUCCION	BAJA CALIFORNIA
TOTAL		3,486.70	11,973.14	6,973,400.00			

Fuente: Elaboración propia con base en datos de la CRE (2013).

El Cuadro 2.2 muestra que estas modalidades en conjunto sumaron casi 3,500 MW de capacidad y casi 12,000 GWh/año de producción de energía autorizada al

final de marzo de 2013, cifras que representan aproximadamente 6 veces más capacidad instalada que la destinada al servicio público, aunque como lo señala el cuadro, algunas centrales aún están en construcción o incluso por iniciar obras. De este gran total, 783.55 MW de capacidad instalada y 2,769.21 GWh/Año de generación autorizada ya están operando (CRE 2013).

Aquí, el cien por ciento de estos proyectos es llevado a cabo por capital privado extranjero.

### *La eólica en conjunto*

En suma, tanto la eoloeléctrica destinada al servicio público, como la que opera en modalidades distintas a éste, han logrado ampliar su participación en la generación de electricidad. La capacidad eólica instalada total en el país sumó 1,381 MW al primer trimestre de 2013. La participación de la eólica en la generación de electricidad en México es creciente, sin embargo, proporcionalmente sigue siendo muy baja, menos del 2% de la capacidad instalada total. Sí varios de los incentivos referidos en la Sección 2.3, tales como, posibilidades de financiamiento, facilidades para interconectarse a la red nacional, tarifas preferenciales, nullos aranceles a la importación de partes y/o equipos, depreciación acelerada para éstos, apertura para cualquier tipo de capital privado, etcétera, han resultado atractivos para los desarrolladores, entonces, ¿qué ha fallado?, ¿porqué el uso de la eólica no ha desplazado con mayor fuerza a las tecnologías convencionales?

Una posible respuesta, es el hecho de que en la actualidad, la generación de energía eléctrica continúa respondiendo esencialmente a incentivos de mercado y éstos aún no han logrado equiparar la viabilidad económica de la eólica con las fuentes convencionales, pues éstas siguen siendo más baratas. Hoy por hoy, el crecimiento de las plantas de ciclo combinado es una muestra del impacto que tienen los costos de generación sobre las decisiones de los generadores.

La posible escasez de los recursos fósiles y los daños ambientales causados por la generación de electricidad con ellos, aún no han logrado penetrar lo suficiente en la formación de la matriz energética y/o en las políticas públicas que la orientan. La experiencia empírica a nivel mundial muestra cómo este eco no ha sido capaz de cambiar tajantemente las formas de producción, pues los factores económicos juegan un papel preponderante. La esperanza de que la escasez de los fósiles, llegue más tarde que temprano y de que el planeta pueda seguir soportando todos los desechos antropogénicos provocados por el uso de aquellos, parecen seguir alentando la producción con fósiles. Así, la generación de electricidad se realiza como cualquier otra actividad económica y toma precariamente en cuenta los efectos medioambientales. El mercado ha favorecido en mayor medida a las fuentes convencionales y puesto en desventaja a las renovables, entre ellas a la eólica. Tal situación ha dado lugar a un efecto indeseable denominado, “externalidades”, sobre el que ahondaremos más adelante.

Por otra parte, dado que la infraestructura eléctrica persistente es mucho mayor de energías fósiles que de renovables, hace que los productores decidan seguir generando con aquellas tecnologías. En general todas las inversiones en generación eléctrica son intensivas en capital y debido a que el capital para generación eléctrica fósil ya está invertido, entonces los proyectos no se pueden retirar hasta que su inversión se haya amortizado, es decir cuando al menos hayan recuperado su capital, lo cual en múltiples ocasiones sucede después de muchos años. Además, las inversiones iniciales, sobre todo en las energías renovables, son tan altas que es relativamente difícil financiarlas.

### **2.5 Propuestas para incentivar el aprovechamiento de la energía eólica en México**

En el contexto descrito, lamentablemente corroboramos que, es indispensable proveer a la eólica de políticas que incentiven su aprovechamiento, pues a pesar de su potencial para contribuir a la mitigación del cambio climático global, hasta

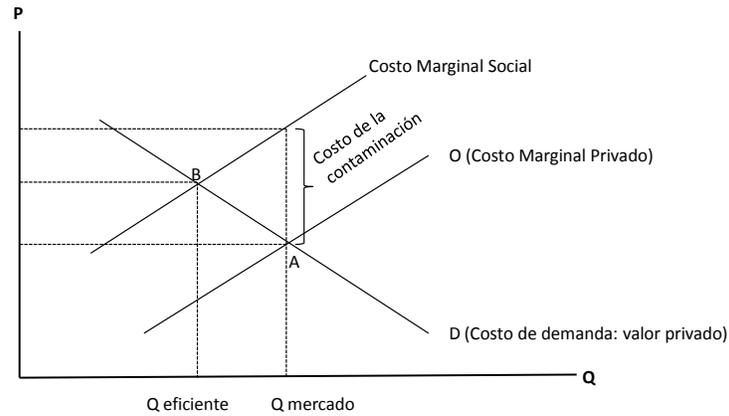
ahora su crecimiento basado en la interacción de las fuerzas del mercado, es muy bajo.

De tal forma, elaboramos un conjunto de propuestas para fomentar el uso de la energía eólica, partiendo de la internalización de externalidades y derivando de ello la necesidad de incrementar la capacidad instalada en las mismas, puntos que se explican con mayor detalle siguiendo esta sección.

### **2.5.1 Externalidades**

Comenzaremos por aclarar que las externalidades son una falla de mercado que ocurre cuando una actividad o transacción realizada por un agente provoca pérdidas o ganancias involuntarias en el bienestar de otro agente, y además, no existe compensación por el cambio ocurrido en el bienestar. Así, el mercado fracasa en la asignación óptima de recursos. La externalidad que deriva en un beneficio, es una externalidad positiva, en caso contrario, es una externalidad negativa (Daly y Farley 2004). Buena parte de las externalidades negativas están relacionadas con la contaminación. La producción de un bien o servicio puede generar contaminación y habitualmente el daño medioambiental no es contabilizado. En la Gráfica 2.1 se ejemplifica la fabricación de un bien que genera emisiones contaminantes. Los costos marginales privados de la producción del bien son menores que los costos marginales sociales, la diferencia entre ellos corresponde al costo de la contaminación derivada de la fabricación del bien en cuestión. Sin control de la contaminación, el equilibrio estará dado por el punto A, donde cruza la curva de demanda y la curva de oferta (curva de costo marginal privado), ahí el beneficio privado de la última unidad producida es igual al costo privado de producción. La cantidad producida en ese punto, será mayor que la cantidad socialmente óptima del punto B, ya que el equilibrio de mercado solo refleja los costos privados de producción. Las externalidades negativas hacen que los mercados produzcan una cantidad mayor que la socialmente deseable (Mochón 1995).

**Gráfica 2.1**  
**Externalidades**



Fuente: Mochon (1995).

Como se discutió en el capítulo anterior, la generación de electricidad tiene muchas implicaciones y los costos no incorporados se han hecho notar, sobre todo en el aspecto ambiental. La presencia de externalidades al producir energía eléctrica es innegable. La producción eléctrica con fósiles genera emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático global, uno de los factores más urgentes a incorporar. Los costos y parámetros para producir electricidad en México, están basados en los costos privados, es decir, no incluyen los costos sociales. Los costos nivelados reportados en el Cuadro 1.5, no han considerado las externalidades ambientales negativas derivadas de la producción eléctrica. El hecho de que los recursos naturales y la conservación de la calidad ambiental constituyan factores sin precio de mercado, dificulta la interpretación completa de un análisis de viabilidad. Aunque existe un continuo debate sobre la posibilidad de poner precio a los recursos naturales y a la conservación ambiental, pues ello presupone al menos cierta sustituibilidad entre capital natural y capital artificial, hasta el momento, incorporar los costos ambientales como parte del precio de mercado, constituye una de las opciones más factibles para equilibrar la importancia de los componentes económicos y medioambientales dentro del proceso de generación de electricidad. A través de ello, es probable que la eólica y otras energías no convencionales resulten más atractivas de lo que ahora son.

### 2.5.2 Cálculo e internalización de externalidades

El Estado mexicano, ha reconocido la existencia de externalidades ambientales negativas en la producción de electricidad, de tal suerte que incluso ha elaborado una metodología para calcularlas. La valuación de las externalidades asociadas a la generación de energía eléctrica mediante diversas fuentes, es un tema que se está tratando desde 2008, cuando se publicó la LAERFTE. Esta ley en su artículo 10, adjudicó la responsabilidad de la elaboración de la metodología para realizar esta valuación a la SENER. Al siguiente año fue publicada la “Metodología para valorar externalidades asociadas con la generación de electricidad en México” y apenas a finales de 2012 se publicaron ciertas modificaciones realizadas a ésta. Sin embargo, hasta ahora, el cálculo del valor de las externalidades no ha sido concluido (IFAI 2013), y por supuesto, mucho menos se ha considerado dentro de los costos de la producción eléctrica. CFE sigue operando bajo los criterios de seleccionar la energía eléctrica más barata y en el cálculo del costo de la producción energética aún no están incorporadas las externalidades<sup>10</sup>.

La metodología de la SENER, reconoce que la generación de electricidad conlleva a varios tipos de externalidades, por ejemplo, en la salud pública, en el impacto al medio ambiente y hasta en la seguridad energética; sin embargo, como un primer ejercicio, solo toman en cuenta las emisiones de los gases de efecto invernadero. Con base en esta metodología, se efectuó el cálculo para valorar en forma monetaria a las externalidades asociadas con la generación de energía eléctrica en México.

La valoración de las externalidades, se llevó a cabo sobre las siguientes tecnologías: hidroeléctrica, termoeléctrica convencional, ciclo combinado, carboeléctrica, nucleoelectrica, geotermoeléctrica, eoloeléctrica y solar fotovoltaica, en adelante “*tecnologías seleccionadas*”. No fue posible llevar un

---

<sup>10</sup> A pesar de que el artículo 36 bis de la LSPEE señala que: “Para la prestación del servicio público de energía eléctrica deberá aprovecharse tanto en el corto como en el largo plazo, la producción de energía eléctrica que resulte de menor costo para la Comisión Federal de Electricidad, considerando para ello las externalidades ambientales para cada tecnología, y que ofrezca, además, óptima estabilidad, calidad y seguridad del servicio público”.

seguimiento puntual de la metodología, principalmente por falta de información, por lo que se tuvieron que realizar algunos ajustes, resaltando básicamente dos. El primero de ellos fue que el cálculo de las externalidades no se llevó a cabo en el periodo de tres años que recomienda la SENER, solo se consideró el cálculo con base en datos de 2012. El segundo, es que para calcular las emisiones de sustancias contaminantes en toneladas de bióxido de carbono equivalente, solo se consideraron las emisiones de bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), debido a la carencia de datos disponibles para las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) y de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) por kWh, asociadas con la producción eléctrica.

Con base en los datos de las emisiones de CO<sub>2</sub> por tipo de combustible publicados en los documentos *Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión del Sector Eléctrico (COPAR) 2012* (CFE 2012b: 42) y *Energías renovables: Impulso político y tecnológico para un México sustentable* (Gutiérrez 2010: 240); en los precios de los contratos de futuros del bióxido de carbono (*European Carbon Futures*) de European Climate Exchange (2013); en los costos de generación por tipo de tecnología publicados en *COPAR 2012* (CFE 2012b: 75) y; en la metodología propuesta por la Secretaría de Energía (2012a), se realizó el cálculo del valor monetario de las externalidades. Dado que la metodología indica que éstas deben ser incorporadas dentro de los costos de operación y mantenimiento, se efectuó también la adición de las externalidades al costo nivelado de cada tecnología. Los resultados se muestran en el Cuadro 2.3. Es importante resaltar que las emisiones reportadas en este cuadro solo incluyen las emisiones durante el proceso de generación de electricidad, es decir no incluyen otras etapas de la vida de las plantas, debido a que no se cuenta con la información suficiente.

El impacto que tienen las externalidades en los costos totales, lleva a la alza los costos de todas las tecnologías, en mayor medida los de las carboeléctricas, seguidos de los del ciclo combinado; en el extremo opuesto, las externalidades tienen menor injerencia sobre los costos de las hidroeléctricas y las eoloeléctricas.

## II. USO Y FOMENTO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO

**Cuadro 2.3**  
**Cálculo del valor monetario de las externalidades asociadas a la generación de electricidad**  
**Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012**

	Emisiones de CO <sub>2</sub> (t/GWh)	Valor de referencia de precios de CO <sub>2</sub> (US\$/t CO <sub>2</sub> )	Externalidades (US\$/GWh)	Costo promedio de generación (M US\$/GWh)	Costo promedio de generación con externalidades (M US\$/GWh)	Variación
Hidroeléctrica	15.00	10.26	153.89	100.48	100.63	0.15%
Termoeléctrica Convencional	822.40	10.26	8,437.13	140.88	149.32	5.99%
Ciclo Combinado	524.44	10.26	5,380.31	58.15	63.53	9.25%
Carboeléctrica	1,082.98	10.26	11,110.46	67.54	78.65	16.45%
Nucleo eléctrica	0.00	10.26	0.00	91.27	91.27	0.00%
Geotermoeléctrica	135.07	10.26	1,385.70	94.77	96.15	1.46%
Eoloeléctrica	0.00	10.26	0.00	81.16	81.16	0.00%
Fotovoltaica	0.00	10.26	0.00	189.74	189.74	0.00%

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Banxico (2013), CFE (2012b), European Climate Exchange (2013), Gutiérrez (2010) y SIE (2013b).

En la generación eléctrica de 2012 en México, mediante las *tecnologías seleccionadas*, los costos de generación totales fueron de 20,262.4 millones de dólares y se emitieron 126.4 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera; si en los costos se hubieran incorporado las externalidades, éstos hubieran ascendido a 21,559.6 millones de dólares, es decir, 1,297.2 millones de dólares más de los realmente incurridos en 2012. Este cambio en los costos, probablemente induciría a un cambio en la composición de la matriz energética, pues con la finalidad de minimizar costos, podrían haber utilizado otras tecnologías.

Con los nuevos costos que incluyen las externalidades, las tecnologías de ciclo combinado siguen siendo las más competitivas en términos económicos, pero la brecha entre su costo comparado con los costos de las otras tecnologías ya no es tan grande, pues aquel sube más del 9%. Además se espera que en los próximos años, los avances tecnológicos conduzcan a los costos de generación con energías renovables por debajo de su nivel actual, sin ser prometedor el avance tecnológico para las tecnologías fósiles, las que además están sujetas a los cambiantes precios de los combustibles. Este punto resulta relevante, pues el alto crecimiento de las tecnologías de ciclo combinado, basado en gran parte en los bajos costos de generación, no ha considerado los costos externos y por lo tanto implica altos costos sociales. Con la incorporación de las externalidades, el ciclo

combinado pierde competitividad, mientras que la eoloeléctrica consigue perfilarse como una alternativa más atractiva y con pronósticos de serlo aún más en un futuro.

### **2.5.3 Matriz energética óptima 2012 (considerando externalidades)**

En el Cuadro 2.3, pudimos observar cómo incrementaron los costos de generación eléctrica con las diversas tecnologías, pero más allá de ello, resulta interesante estudiar qué tanto estos incrementos pueden contribuir a mitigar las emisiones de bióxido de carbono y a redireccionar la matriz energética. Para hacer una aproximación de ello, se diseñó un escenario de generación eléctrica 2012, el Escenario 1<sup>11</sup>, cuyo objetivo fue minimizar las emisiones totales de bióxido de carbono de las *tecnologías seleccionadas* en la producción eléctrica para el servicio público, sujeto a ciertas restricciones.

Esta situación se planteó como un problema de optimización, el cual fue resuelto a través del uso del programa LINGO (Linear Generalize Optimizer). LINGO es un lenguaje de modelación matemática que permite formular y resolver problemas de optimización lineales y no lineales. Ofrece los resultados de lo que intentamos encontrar como un punto extremo (máximo o mínimo), que está condicionado por un conjunto de restricciones dadas. La mayoría de las veces, estos problemas están relacionados con el uso eficiente de los recursos (Lindo Systems Inc 2014).

El planteamiento del Escenario 1, en el cual se busca optimizar la generación eléctrica de 2012 destinada al servicio público de las *tecnologías seleccionadas*, quedó así:

Objetivo:

- Minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> de la generación de energía eléctrica para servicio público en 2012 de las tecnologías hidroeléctrica, termoeléctrica convencional, ciclo combinado, carboeléctrica, nucleoeeléctrica, geotérmica, eólica y solar fotovoltaica.

---

<sup>11</sup> Para mayor detalle de la construcción y resultados del Escenario 1 de optimización, consultar el Anexo 1.

Sujeto a:

- Que la generación eléctrica de cada tecnología sea menor o igual a la generación máxima posible de cada una (calculada con base en la capacidad instalada al 2012 y el factor de planta promedio de cada tecnología).
- Que la generación de electricidad total de las tecnologías señaladas sea mayor o igual a la generación total observada en 2012 por dichas tecnologías.
- Que la suma de los costos de generación de las tecnologías señaladas (considerando externalidades) no rebase el monto total de la sumatoria de los costos observados en 2012 para dichas tecnologías.

Los resultados más significativos de este problema de optimización se resumen en el Cuadro 2.4, donde se comparan los valores obtenidos en 2012 con los valores óptimos calculados para 2012 (Escenario 1).

Los resultados del Escenario 1 sugieren que la participación en la generación bruta de electricidad de todas las tecnologías, excepto termoeléctricas convencionales y carboeléctricas, sea mayor que la observada en 2012; de tal forma las emisiones disminuyen aproximadamente 12.7% y los costos prácticamente no presentan variaciones.

El hecho de que el escenario de optimización arroje valores de generación eléctrica más altos para las tecnologías hidroeléctrica, ciclo combinado, nuclear, geotérmica, eólica y solar fotovoltaica, se debe fundamentalmente a que estas plantas son menos emisoras de CO<sub>2</sub> y sus costos se volvieron más competitivos con la incorporación de externalidades, además podrían producir más electricidad con su capacidad instalada actual, si tuvieran una mejor gestión del uso del recurso. Es decir, la generación máxima posible de acuerdo con el factor de planta promedio es superior a los niveles de generación registrados en 2012. Aunque también es importante reconocer que para el caso de las energías renovables, la

intermitencia de las fuentes, hace que la energía no siempre esté disponible y ante esta situación, aún no hay herramientas humanas que la reviertan.

**Cuadro 2.4**  
**Comparación Generación Eléctrica 2012 y Escenario 1**  
**Servicio Público de Energía Eléctrica (Tecnologías Seleccionadas)**

Variable	Tecnología	Valor total		Participación porcentual	
		2012	Escenario 1	2012	Escenario 1
<b>Generación bruta de electricidad (GWh)</b>	Hidroeléctrica	31,248	42,302	13.2%	17.9%
	Termoeléctrica Conv	53,918	33,241	22.8%	14.0%
	Ciclo Combinado	117,557	126,349	49.6%	53.4%
	Carboeléctrica	17,724	14,186	7.5%	6.0%
	Nucleoeléctrica	8,770	12,693	3.7%	5.4%
	Geotermoeléctrica	5,817	6,043	2.5%	2.6%
	Eoloeléctrica	1,744	1,963	0.7%	0.8%
	Fotovoltaica	2	2	0.0%	0.0%
	<i>Total</i>	<i>236,780</i>	<i>236,780</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
<b>Emissiones totales (Mt)</b>	Hidroeléctrica	469	635	0.4%	0.6%
	Termoeléctrica Conv	44,342	27,337	35.1%	24.8%
	Ciclo Combinado	61,652	66,263	48.8%	60.0%
	Carboeléctrica	19,195	15,363	15.2%	13.9%
	Nucleoeléctrica	0	0	0.0%	0.0%
	Geotermoeléctrica	786	816	0.6%	0.7%
	Eoloeléctrica	0	0	0.0%	0.0%
	Fotovoltaica	0	0	0.0%	0.0%
	<i>Total</i>	<i>126,443</i>	<i>110,414</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
<b>Costos totales (MM US\$)</b>	Hidroeléctrica	3,140	4,257	15.5%	21.0%
	Termoeléctrica Conv	7,596	4,963	37.5%	24.5%
	Ciclo Combinado	6,836	8,027	33.7%	39.6%
	Carboeléctrica	1,197	1,116	5.9%	5.5%
	Nucleoeléctrica	800	1,159	4.0%	5.7%
	Geotermoeléctrica	551	581	2.7%	2.9%
	Eoloeléctrica	142	159	0.7%	0.8%
	Fotovoltaica	0	0	0.0%	0.0%
	<i>Total</i>	<i>20,262</i>	<i>20,262</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>

Por otra parte, debido a que el escenario está sujeto a dicha generación máxima posible, el cambio entre los resultados observados en 2012 y el escenario planteado, no es tan amplio como podría desearse en las tecnologías menos contaminantes.

#### 2.5.4 Incremento de la capacidad instalada en las plantas eoloeléctricas

Del análisis anterior, se deriva la imperante necesidad de instalar mayor capacidad de generación de las centrales que generan menos emisiones, así incrementaría el valor de la generación máxima posible, que es la restricción que en el Escenario 1 limitaba el incremento de la producción eléctrica de las plantas.

Ahora bien, para determinar en qué plantas habría que instalar mayor capacidad para minimizar las emisiones, los precios duales reflejados en los resultados de la programación del Escenario 1, nos brindan una respuesta (ver Cuadro 2.5). Los precios duales, representan los costos de oportunidad en la minimización de las emisiones, es decir, de acuerdo a las restricciones de

**Cuadro 2.5**  
**Costos de oportunidad de la generación máxima**  
**Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012**

Tecnología	Precio dual (t CO <sub>2</sub> / GWh)
Hidroeléctrica	986.93
Termoeléctrica Conv.	0.00
Ciclo Combinado	614.29
Carboeléctrica	0.00
Nucleoeléctrica	1,036.45
Geotermoeléctrica	883.38
Eoloeléctrica	1,073.73
Fotovoltaica	673.36

Fuente: Elaboración propia.

generación máxima, poder incrementar en una unidad esa generación en cada tecnología, nos llevaría a una disminución de las emisiones equivalente al valor del precio dual. De tal forma, las plantas eólicas al presentar el mayor precio dual, representan la mejor alternativa para invertir en la instalación de mayor capacidad con el objetivo de disminuir la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> en la generación eléctrica total para el servicio público, seguidas de las plantas hidroeléctricas y de las nucleoeléctricas. Dicho de otra forma, cuando en nuestro escenario de optimización la restricción de generación máxima posible de la eólica incrementa una unidad, el valor total de las emisiones disminuirá 1,074 toneladas de bióxido de carbono, aproximadamente. Obviamente el precio dual de las termoeléctricas y las carboeléctricas es cero, debido a que en los resultados de la optimización ni siquiera utilizan la capacidad total de dichas plantas, por lo tanto un incremento en esa variable no tiene efectos sobre los resultados óptimos.

A manera de síntesis y enfocando los resultados a la producción eólica, se obtiene que el valor monetario de las externalidades que contemplan las emisiones de CO<sub>2</sub>, derivadas de la generación eléctrica, no tiene efectos sobre las plantas eólicas, ya que éstas no emiten bióxido de carbono durante el proceso de generación eléctrica. En cambio, los costos monetarios de las tecnologías que utilizan fósiles incrementan 16.45% en carboeléctricas, 9.25% en ciclo combinado y 5.99% en termoeléctricas. Para poder disminuir en mayor proporción las emisiones, es indispensable invertir en mayor capacidad de generación eólica, pues esta tecnología es la que presenta mayores costos de oportunidad con el objetivo de minimizar las emisiones.

#### **2.5.5 Matriz energética óptima 2026 (considerando externalidades)**

Para mostrar el cambio en la matriz energética óptima en caso de que se instalara mayor capacidad de las energías renovables, construimos el Escenario 2<sup>12</sup>, el cual arroja la generación óptima con cada tecnología para 2026, con el objetivo de minimizar las emisiones totales de bióxido de carbono en la producción eléctrica para servicio público.

El planteamiento de este escenario fue muy similar al anterior, solo que al cambiar el año, hubo variaciones en los valores de las restricciones, quedando de la siguiente manera:

Objetivo:

- Minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> de la generación de energía eléctrica para servicio público en 2026 de las tecnologías hidroeléctrica, termoeléctrica convencional, ciclo combinado, carboeléctrica, nucleoelectrica, geotérmica, eólica y solar fotovoltaica.

Sujeto a:

---

<sup>12</sup> Para mayor detalle de la construcción y resultados del Escenario 2 de optimización, consultar el Anexo 2.

- Que la generación eléctrica de cada tecnología sea menor o igual a la generación máxima posible de cada una, de acuerdo con el potencial para 2026.
- Que la generación de electricidad total de las tecnologías señaladas sea mayor o igual a la generación estimada para 2026.
- Que la suma de los costos de generación de las tecnologías señaladas (considerando externalidades) no rebase el monto total de la sumatoria de los costos estimados para 2026, con base en un incremento del costo proporcional al incremento estimado de la producción.

En el Cuadro 2.6, se muestran los resultados del Escenario 2 y se comparan con los previamente obtenidos del Escenario 1.

Los resultados muestran que si se usa el potencial de las renovables, la manera en que se genera energía eléctrica cambiaría de forma importante. En un escenario óptimo para 2026, las termoeléctricas y las carboeléctricas dejarían de generar electricidad, así, el gas natural sería el único combustible fósil utilizado en la producción eléctrica, empero, su participación seguiría siendo mayoritaria. Las tecnologías geotérmica, eólica y solar, presentarían crecimiento, en mayor medida la eoloeléctrica, pasando del escenario óptimo 2012 de 1,963 GWh a 39,420 GWh en el escenario óptimo de 2026, contribuyendo en este último con casi el 9% en la generación eléctrica bruta total.

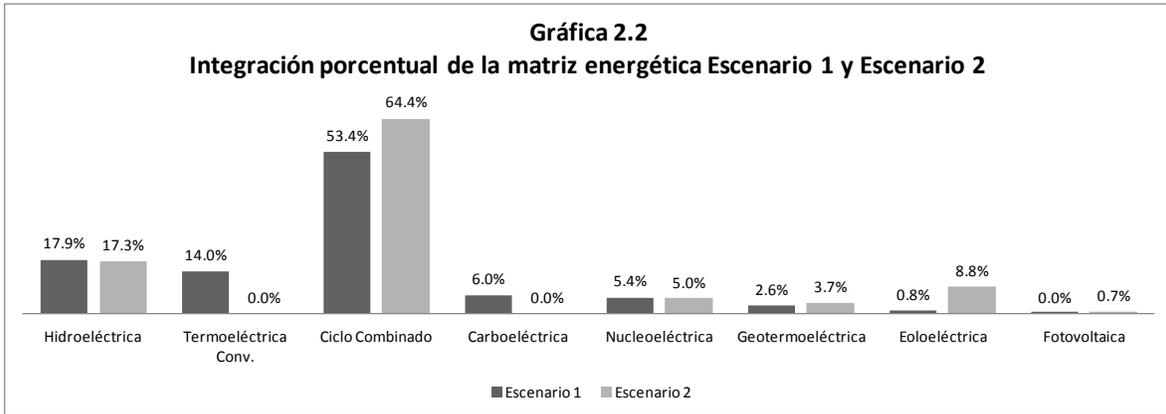
En los resultados totales, comparando el Escenario 1 con el Escenario 2, la generación bruta crece 88.5%, mientras que el nivel de emisiones solo crece 39.6% y los costos totales aumentan 65.2%. Esto quiere decir que al incorporar las externalidades de las emisiones de carbono en los costos de generación e incrementar la capacidad instalada en las tecnologías con los mayores costos de oportunidad, tiene efectos favorables en la reducción del nivel de emisiones de CO<sub>2</sub>, la generación puede crecer más y las emisiones menos. Si comparamos las emisiones de carbono promedio derivadas de la generación de electricidad, tenemos que en 2012 eran de 534 t/GWh, en el Escenario 1 de 466 t/GWh y en el

Escenario 2 de 345 t/GWh. Atendiendo la propuesta vertida en esta tesis, la producción eléctrica será menos intensiva en carbono.

**Cuadro 2.6**  
**Comparación Generación Eléctrica Escenario 1 y Escenario 2**  
**Servicio Público de Energía Eléctrica (Tecnologías Seleccionadas)**

Variable	Tecnología	Valor total		Participación porcentual	
		Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
<b>Generación bruta de electricidad (GWh)</b>	Hidroeléctrica	42,302	77,263	17.9%	17.3%
	Termoeléctrica Conv	33,241	0	14.0%	0.0%
	Ciclo Combinado	126,349	287,573	53.4%	64.4%
	Carboeléctrica	14,186	0	6.0%	0.0%
	Nucleoeléctrica	12,693	22,311	5.4%	5.0%
	Geotermoeléctrica	6,043	16,381	2.6%	3.7%
	Eoloeléctrica	1,963	39,420	0.8%	8.8%
	Fotovoltaica	2	3,285	0.0%	0.7%
	<i>Total</i>	<i>236,780</i>	<i>446,234</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
<b>Emissiones totales (Mt)</b>	Hidroeléctrica	635	1,159	0.6%	0.8%
	Termoeléctrica Conv	27,337	0	24.8%	0.0%
	Ciclo Combinado	66,263	150,815	60.0%	97.8%
	Carboeléctrica	15,363	0	13.9%	0.0%
	Nucleoeléctrica	0	0	0.0%	0.0%
	Geotermoeléctrica	816	2,213	0.7%	1.4%
	Eoloeléctrica	0	0	0.0%	0.0%
	Fotovoltaica	0	0	0.0%	0.0%
	<i>Total</i>	<i>110,414</i>	<i>154,187</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>
<b>Costos totales (MM US\$)</b>	Hidroeléctrica	4,257	7,775	21.0%	23.2%
	Termoeléctrica Conv	4,963	0	24.5%	0.0%
	Ciclo Combinado	8,027	18,270	39.6%	54.6%
	Carboeléctrica	1,116	0	5.5%	0.0%
	Nucleoeléctrica	1,159	2,036	5.7%	6.1%
	Geotermoeléctrica	581	1,575	2.9%	4.7%
	Eoloeléctrica	159	3,199	0.8%	9.6%
	Fotovoltaica	0	623	0.0%	1.9%
	<i>Total</i>	<i>20,262</i>	<i>33,479</i>	<i>100%</i>	<i>100%</i>

En la Gráfica 2.2 se muestra la variación en la integración de la matriz energética, mostrando las mayores tasas de crecimiento las tecnologías eólica y solar.



### 2.5.6 Impuestos a las emisiones

Hasta ahora se han analizado diversos aspectos que apuntan hacia el incremento del aprovechamiento de la energía eólica para generar electricidad como una alternativa favorable en la lucha contra el cambio climático global. Del mismo modo se comprobó que incorporar las externalidades derivadas de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el costo de generación conjugado con un incremento en la capacidad instalada de las plantas eólicas, contribuye a minimizar estas emisiones. Sin embargo, de no llevar a cabo acciones concretas para incentivar a la eoloeléctrica, los esfuerzos de investigación y análisis quedarían aislados sin mayor implicación. En este apartado, proponemos hacer efectivo el costo de las externalidades como un costo más que asume el productor, de tal forma que ello tenga alcances sobre la distribución de la matriz energética y sobre el nivel de emisiones de CO<sub>2</sub> que ésta genera.

En primer lugar se reconoce que, únicamente la participación de las fuerzas del mercado, es insuficiente para hacer frente a la mitigación del cambio climático global. Los daños ambientales derivados de la generación de electricidad, abordando específicamente las emisiones de bióxido de carbono, no han sido hasta ahora razón basta para la transición energética de fósiles a renovables. La presencia de externalidades, en este caso negativas, impide el funcionamiento de un mercado perfectamente competitivo, lo cual acarrea resultados ineficientes e inequitativos. El modelo neoclásico del mercado competitivo, donde existe una

asignación eficiente de recursos, donde se minimizan costos y se maximizan beneficios, donde la racionalidad de todos los individuos conduce misticamente a la asignación eficiente en el sentido de Pareto, constituye un modelo ideal que en los mercados reales no existe<sup>13</sup>. La teoría de las fallas de mercado, puso en tela de juicio el principio de acuerdo al cual, la conducta egoísta de los individuos permitía maximizar los beneficios, no solo individuales, sino también sociales. Bajo esta teoría, las externalidades constituyen una falla que demanda la intervención del Estado, asumiendo que ésta no es una solución perfecta, pero si es un mecanismo que introduce mejoras en el funcionamiento de los mercados (Ayala 1996).

Dado que las externalidades analizadas (emisiones de CO<sub>2</sub>) constituyen externalidades negativas de tipo inagotable por tratarse de un bien público puro (el aire), no existe un precio óptimo para productores y consumidores. El precio óptimo de la externalidad negativa para el productor es una carga más por el daño que genera; el precio óptimo para el consumidor es cero, porque un aumento en el número de consumidores de la externalidad, no tiene ni costos ni beneficios para los demás, por lo que resulta improbable poder realizar una compensación que conduzca totalmente a la eficiencia. Obviamente ningún precio puede ser simultáneamente no-cero y cero; el sistema de precios es, por lo tanto, incapaz de resolver este caso. El uso de impuestos, en cambio, se presentan como una posibilidad para corregir los efectos negativos derivados de las externalidades inagotables. Este mecanismo, puede asumir la asimetría de precios requerida para las externalidades inagotables. El impuesto al oferente sirve como el precio no-cero exigido por las externalidades que genera, y al mismo tiempo, las cargas a los consumidores serán cero (Baumol y Oates 1988).

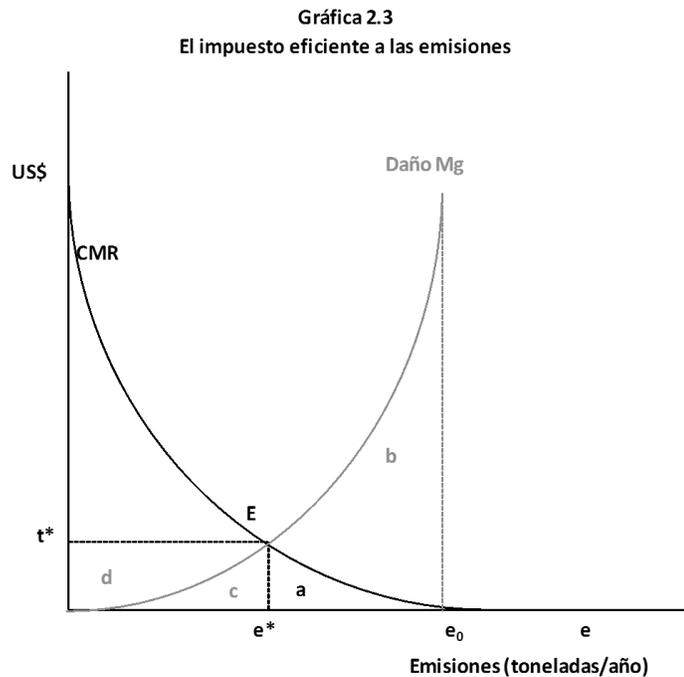
De tal suerte, los impuestos a las emisiones se presentan como la mejor alternativa para incorporar las externalidades al costo de generación. El Estado

---

<sup>13</sup> No se niega la importancia de los modelos simplificados y abstractos como herramientas útiles para explicar la economía, sin embargo tampoco se niega la importancia de cuestionar estos modelos e incluso contrastarlos con la realidad.

debería fijar una tasa impositiva  $t$ , equivalente al valor de referencia de los precios de bióxido de carbono. Esta medida, impulsaría a los productores a buscar alternativas para reducir sus emisiones, pues invariablemente se encuentran en la búsqueda constante de economizar. La forma en que los productores reduzcan las emisiones de  $\text{CO}_2$ , será un asunto que ellos tendrán que definir, para lo cual el Estado no impondrá un camino especial.

La Gráfica 2.3 ilustra de manera sencilla el comportamiento de los productores al enfrentar un impuesto en las emisiones. Con una carga impositiva sobre las emisiones, que en pocas palabras se traduce en mayores costos para los productores por el uso de los servicios ambientales, intentarán reducir las emisiones, y para ello tendrán que incurrir en costos; por lo



Fuente: Field y Field (1994).

tanto los impuestos sobre las emisiones representan dos tipos de costos adicionales para los productores: los costos de reducción y los impuestos. Los costos marginales de reducción (*curva CMR*) tienden a ser bajos al reducir las primeras toneladas de emisiones, pero van creciendo a medida que se reducen más toneladas. Si la tasa impositiva ( $t^*$ ) es mayor que el costo marginal de disminuir la primera tonelada, entonces reducir las emisiones sería sin duda una decisión razonable para el productor y encontraría un punto óptimo de emisiones hasta que el costo marginal de reducción y el impuesto sobre las emisiones coincidan (*punto E*). El área bajo la *curva CMR* del lado derecho del nivel óptimo de emisiones ( $e^*$ ) representa el costo total de reducción (*área a*). Si se conoce la

función de daño marginal, es posible añadir su representación en la gráfica y tenemos la *curva Daño Mg*, las *áreas a y b*, representan los daños evitados por la tasa impositiva. Los daños permanentes se encuentran representados por el *área c*. Las *áreas c y d*, son los impuestos totales. Ya que los daños permanentes son menores que lo que paga la empresa en impuestos totales, se hace manifiesto el hecho de que los impuestos sobre las emisiones se basan en la noción del derecho a usar el medio ambiente y no en la compensación (Field y Field 1994).

Aplicando el mismo tipo impositivo a diversas fuentes, dotadas cada una con su propia función de costo marginal de reducción, cuando el costo marginal de reducción aumenta más lentamente en una fuente que en otra, la primera tendrá una curva más horizontal que la segunda. Ello derivará en que la fuente con curva más horizontal sea capaz de reducir un mayor número de emisiones, pues el costo marginal de reducción igualará a  $t^*$  cuando se hayan disminuido más emisiones. La recaudación de impuestos con el productor con curva CMR más horizontal será menor en comparación con la recaudación efectuada con el productor de curva CMR más vertical. Este hecho permite alcanzar resultados eficientes (conformes al principio de equimarginalidad), incluso si la administración desconoce las funciones de costo marginal de reducción de cada una de las fuentes. Por otra parte, lo que este desconocimiento provoca es una grave dificultad para predecir tanto la reducción total de emisiones como la cuantía de los impuestos que se recaudarán. Incluso ante una variación del tipo impositivo, la variación de estos dos parámetros podría ser diametralmente distinta entre una fuente y otra, dependiendo nuevamente de la inclinación de sus curvas CMR (Field y Field 1994).

### **2.5.7 ¿Por qué no, regulaciones o subsidios?**

La conveniencia de utilizar impuestos como política para reducir las emisiones, en vez de otros tipos de incentivos, como las regulaciones o los subsidios, tiene fundamento en más de un argumento.

Un estudio realizado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (1994), distingue al menos tres motivos que señalan a los impuestos como un mejor mecanismo para reducir la contaminación, que las regulaciones.

- 1) *Cantidad y calidad de información.* En casos donde la información que poseen los reguladores ambientales es limitada, como el que se analiza en esta tesis, los impuestos funcionan mucho mejor, que los intentos de regulaciones que limitan las emisiones a un nivel dado. Los mecanismos de regulación exigen información completa sobre los costos y las circunstancias de cada uno de los productores. La carencia de esta información dificulta formular las regulaciones adecuadas y por lo tanto, dificulta también conseguir una reducción de la contaminación en toda la industria. De tal modo, las necesidades de información de una política medioambiental que acuda a los impuestos, son menores que las de una política equivalente que utilice la regulación. Además, las políticas de regulación, tienden a hacer cumplir exigencias de reducción uniforme a todos los contaminadores, en consecuencia, esta reducción será más cara para unos que para otros.
- 2) *Incentivos a la innovación.* Debido a que los contaminadores pagan un impuesto sobre cada unidad de contaminación emitida, existe un permanente incentivo a la innovación con miras a reducir los niveles de contaminación. En cambio, las regulaciones, exigen únicamente los cambios necesarios para respetar las reglas.
- 3) *Influencia reguladora.* La política de impuestos, es menos vulnerable a la “influencia reguladora” que la política de regulaciones y negociaciones empresa por empresa. Las autoridades tienden a identificarse estrechamente con los intereses del sector en cuestión, en lugar de identificarse con el interés general.

Con respecto a los subsidios, hemos encontrado en éstos algunos inconvenientes que, los vuelven menos aptos para aplicar en un caso como el que ahora se estudia (Baumol y Oates 1988; Field y Field 1994; OCDE 1994).

- 1) *Mayor contaminación inicial.* Cuando el contaminador se da cuenta que puede influir sobre la autoridad reguladora, un sistema de subsidios puede hacer que sea mejor para la empresa empezar contaminando más de lo que hubiera hecho regularmente, con el fin de obtener mayores subsidios.
- 2) *Incremento total de la contaminación.* Podría suceder que el programa disminuyera el volumen de emisiones por empresa, pero aumentara el número de empresas en el sector, y con él, el nivel de contaminación total. Las empresas en el sector aumentarían como consecuencia de que, una empresa podría no ser rentable bajo el mecanismo de impuestos, pero resultar rentable bajo subsidios y así, ampliar la entrada y disminuir la salida de firmas.
- 3) *Referencia de cálculo del subsidio.* Dado que el subsidio debe pagarse por cada unidad de contaminación suprimida, es indispensable definir un nivel de referencia de vertidos con el que se compararán los vertidos constatados. Tomar como referencia los niveles de vertidos en una situación inicial, podría ser una aproximación razonable al principio, pero progresivamente, perdería sentido.
- 4) *Gasto público.* Para poder financiar los subsidios, el gasto público se vería afectado, exigiendo incluso, el cobro de otros impuestos para financiarlo.
- 5) *Efectos solo en el corto plazo.* Con un subsidio, se otorgaría una ayuda monetaria por cada unidad de contaminación suprimida, tal vez al inicio daría resultados, pero después, la dificultad de suprimir mayor número de emisiones, dejaría prácticamente sin efecto a esta política. En cambio con los impuestos, cuando se llega a este punto, la recaudación seguiría existiendo (dado que es prácticamente imposible reducir las emisiones a cero) y el monto de ésta podría utilizarse para financiar otras medidas que contribuyan a bajar las emisiones.

Como vemos, hay muchos aspectos que alientan el uso de los impuestos, aunque también debemos reconocer que el impuesto medioambiental tiene el riesgo de producir dos efectos: el beneficioso de reducir la contaminación y el negativo de

reducir el bienestar como consecuencia de reducir la producción. No obstante, en la práctica, la cuantificación de la probable magnitud de esta incidencia indica que este problema es mínimo (OCDE 1994).

### **2.5.8 El destino de la recaudación de los impuestos**

Retomando la moción del cobro de un impuesto a la producción eléctrica en México, la tasa  $t$  habría sido de 10.26 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub>, el monto total de la recaudación de ese impuesto en 2012 habría sido equivalente a 1.3 mil millones de dólares, que es el valor total de las externalidades calculado en ese año, lo cual equivale a aproximadamente un 0.5% del presupuesto total programable de la CFE en 2013, que es de 269.25 mil millones de pesos (SHCP 2013). Aunque esta cifra pudo haberse reducido por los logros de los productores para reducir emisiones, aun así, es útil para tener una aproximación a las posibilidades de recaudación. Una cifra de más de 1.3 mil millones de dólares, evidentemente atractiva, no debe ser pensada en este caso como una posibilidad para recaudar impuestos y financiar gastos públicos corrientes, sino más bien debe ser concebida y formulada para incentivar la baja en las emisiones.

Por ello, como complemento a la carga tributaria a las emisiones, se propone que, la recaudación derivada del impuesto a las emisiones en la generación de electricidad, sea utilizada en su totalidad para instalar mayor capacidad efectiva de generación eólica, por ser la que presenta el costo de oportunidad más elevado.

Cuando los generadores eléctricos logren suprimir cierta cantidad de emisiones y por lo tanto disminuir su carga tributaria, la suma de impuestos que no se recaude, al menos una parte, será de manera indirecta utilizada en beneficio de la sociedad, principalmente en actividades de IDTI para minimizar emisiones; y de manera directa, para disminuir las emisiones de la empresa y el costo marginal de reducción de emisiones de la misma, representando así un ahorro para el productor (Field y Field 1994).

Los impuestos cumplen una doble función, por un lado minimizan las emisiones de bióxido de carbono, como resultado de los esfuerzos de los productores por disminuir la contaminación, y por otra parte, contribuyen a la transición energética debido a que la recaudación se utilizará para la instalación de mayor capacidad de generación menos contaminante.

### **2.5.9 Conciliar intereses con respecto a la renta de la tierra**

Aunque no es el objetivo central de esta tesis hacer un análisis a fondo de los problemas sociales derivados de la renta de la tierra para la construcción y operación de los proyectos eoloeléctricos, se reconoce que estos problemas son un factor que incide en el crecimiento del uso de la eólica.

Generalmente, los lugares con mayor potencial eólico están ubicados en zonas rurales, donde la tierra es de uso agrícola o ganadero y es de propiedad comunal o ejidal. De tal suerte, las empresas interesadas en instalar proyectos eólicos deben en primera instancia negociar la renta de la tierra con los propietarios. En muchas ocasiones, las transnacionales amparadas por su poderío y por intereses afines con algunos gobiernos, realizan la negociación de manera ventajosa, aprovechándose de las condiciones de pobreza, del nivel educativo precario en el que se encuentra la población e incluso de su lengua (Asamblea de Pueblos del Istmo 2013; CDPIM 2013; Cruz 2008; Garduño 2013; Oxfam 2009; Peto 2013; Siscar 2010; Uranga 2011).

Los habitantes de las comunidades y propietarios de la tierra, alegan que existe un riesgo de pérdida de capacidad productiva. En los parques eólicos se producen derrames de aceite sintético, solvente y pintura, por los cambios de aceite para el mantenimiento de los aerogeneradores, lo que puede contaminar los suelos y cuerpos de agua superficial y subterránea, afectando los terrenos donde se desarrollan las actividades agrícolas, ganaderas y pesqueras, que representan las principales fuentes de ingreso de la población local (CDPIM 2013). Los caminos que comunican entre sí las turbinas, imprescindibles para labores de mantenimiento, dividen las parcelas y cortan el paso del agua. El sistema de riego

es por gravedad, de manera que la elevación del terreno para trazar los caminos impide el riego de la parcela que se encuentra al otro lado. De la misma forma, cuando llueve mucho los terrenos se inundan y el agua no puede encontrar su salida natural, lo que provoca encharcamientos. El paso frecuente de la maquinaria para labores de mantenimiento compacta el suelo y lo empobrece para el uso agrícola (Oxfam 2009). Las actividades ganaderas también han sido afectadas. Tan sólo en el Ejido de La Venta, más de 800 hectáreas de tierras fértiles han sido cementadas para fijar torres y otras 120 para caminos, que dificultan el pastoreo de las vacas. Las obras para compensar el desnivel natural del terreno, han creado más desniveles, que en los meses de lluvias, inundan los campos de cultivos, pudriendo el pasto. Además, el ruido del aerogenerador en movimiento asusta el ganado (Siscar 2010). Por otra parte, en las regiones costeras el ruido de los aerogeneradores hace que los peces se alejen de la zona, lo que va en detrimento de la pesca, que es medio de subsistencia de muchos pobladores (Asamblea de Pueblos del Istmo 2013).

En general, una buena parte de los habitantes de las comunidades manifiestan una profunda desaprobación al hecho de que los proyectos eólicos atiendan como prioridad los intereses de las empresas multinacionales, que depredan la tierra, la cultura y las formas de reproducción social de los pueblos originarios; al mismo tiempo que dichas empresas obtienen multimillonarias ganancias (Cruz 2008). Para los indígenas la tierra no es sólo una cuestión de posesión, sino un legado cultural.

Los propietarios de las tierras reciben el pago por el arrendamiento de las mismas, sin embargo, en México el precio pactado es en general muy bajo. En el ámbito internacional la remuneración pagada por las empresas explotadoras de parques eólicos, por concepto de arrendamiento de tierras, oscila entre 2% y 3% de los ingresos brutos por venta de energía; en México la renta de la tierra representa entre 0.025% y 1.85% de los ingresos brutos (CDPIM 2013; Peto 2013; Uranga 2011). Aunado a lo anterior, las grandes empresas que operan los proyectos eólicos, ni siquiera han respetado los acuerdos sobre la remuneración de la renta

de la tierra, provocando demandas y levantamientos en contra de la construcción o el cierre de estas iniciativas. Los opositores a los parques eólicos han expuesto que los contratos usualmente no ofrecen información transparente sobre los derechos que tiene los propietarios y sobre lo que sucederá con las instalaciones eólicas una vez concluido el contrato. Además, hay cooptación de representantes de las comunidades y simulación de asambleas para agilizar las firmas de contratos, con el fin de excluir a las asambleas ejidales de los procesos de toma de decisiones (CDPIM 2013).

Los indígenas exigen el respeto a su derecho colectivo a una consulta previa e informada, tal y como establece el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo. Sin embargo, algunas organizaciones, como el Centro de Derechos Humanos Tepeyac, acusan que las empresas eólicas han contratado a líderes corruptos, autoridades municipales y funcionarios federales para convencer a los campesinos a rentar sus tierras a precios irrisorios. La situación es tan tensa, que han surgido incluso problemas de seguridad, desatando una ola de violencia contra los opositores a los proyectos, quienes han sido víctimas de amenazas, hostigamiento, persecución y agresiones. Hay también casos en los que los habitantes de las comunidades han tomado las instalaciones de los parques, paralizando su actividad y exigiendo la cancelación de los mismos (CDPIM 2013; Siscar 2010).

Ante esta compleja problemática, es evidente que de no conciliar los intereses en cuanto a la renta de la tierra de los proyectos eólicos, esta situación podría convertirse en un severo obstáculo para el avance de la eólica. Aunque muchos de los problemas aquí expuestos están íntimamente ligados con cuestiones éticas, sobre las cuales es difícil incidir mediante un plan concreto como el que intenta definir esta tesis en este apartado, existen también posibilidades de orientar las diversas vertientes de estos problemas hacia una reconciliación de intereses. Es indispensable no cesar el análisis de las implicaciones de la construcción de proyectos eólicos para tener información amplia sobre el tópico, tomar decisiones desde una perspectiva objetiva y neutral y mitigar los efectos adversos de los

proyectos. Es inadmisibles inclinarse a favor de ciertos actores, sin tener argumentos sólidos que sustenten las acciones.

La contienda energía eólica vs comunidades, atañe directamente al gobierno mexicano en todos sus niveles, pues por una parte se ha pronunciado a favor de las energías renovables y por otra parte su discurso va encaminado a la mejora de las condiciones de vida de las comunidades indígenas y rurales. ¿Cómo conciliar estos intereses?

En primera instancia es necesario reconocer que la problemática ha rebasado los niveles tolerables de conflicto y que de no intervenir en ello, podría tener aún más graves consecuencias de brotes de violencia, choques entre las partes y trabas a los proyectos eólicos, pues parece que ni los desarrolladores eólicos ni los pueblos implicados tienen mucha disposición a ceder. Por esta razón, se propone la creación de un organismo de carácter federal que se encargue de arbitrar las negociaciones entre propietarios de la tierra y empresas. Su función primordial será vigilar que la manera en que se lleven a cabo las negociaciones sea transparente, justa y respetando a ambas partes. Una de sus funciones básicas será asegurar que la comunicación entre los propietarios de los terrenos y las empresas se realice de forma efectiva, atendiendo las necesidades de traducción y lectura para las partes, pues en el caso de los indígenas, el analfabetismo y/o el uso de una lengua distinta, históricamente los ha hecho vulnerables ante diversas situaciones. Otra de las funciones del organismo propuesto será crear vínculos entre las comunidades y las empresas, que al cabo del tiempo permitan una interacción armoniosa entre las partes e incluso la posibilidad de que las empresas y comunidades realicen alianzas en las que puedan integrar proyectos eólicos con mayores beneficios para ambas.<sup>14</sup> Por otra parte, el organismo será encargado de

---

<sup>14</sup> Una idea similar ya ha surgido en la región en el Municipio de Ixtepec, donde se está proponiendo asociarse con la Fundación Yansa, bajo la modalidad de PIE y crear un parque eólico comunitario. La propuesta de esta Fundación es que a cada uno les corresponda el 50% de las ganancias. El proyecto continúa en el papel ya que existen problemas con su instalación, pues la CRE se ha opuesto a entregar el permiso. Se espera que de concretarse el proyecto, tras pagar la parte correspondiente de los créditos, produzca ingresos de entre 25 y 40 millones de pesos al año para cada uno de los socios. (Peto 2013; Rojas 2012).

empoderar a las comunidades sobre la posibilidad que tienen de ser parte de los beneficios de los proyectos eólicos, mediante la asesoría y difusión de información para que las comunidades puedan ser parte de los proyectos y no solo actores pasivos de quienes incluso se sacaba provecho. Es importante recalcar que todas estas acciones deberán llevarse a cabo sin dejar de lado la práctica de la consulta previa e informada, que como señalamos más arriba, se estaba violando constantemente; los resultados de dicha consulta deberán ser respetados.

En vista de la discrepancia en la distribución de los rendimientos económicos entre los propietarios de terrenos y los operadores de las plantas eólicas, se propone legislar que la renta de la tierra sea equivalente como mínimo al 2.5% de los ingresos por venta de electricidad, que es la mediana del estándar internacional (Uranga 2011). Debido a que en México se ha viciado la negociación de este pago, crear una regla en torno al asunto será la única forma en la que se pueda mediar en búsqueda de una salida a las agudas confrontaciones, norma que será vigilada por el organismo federal propuesto en el párrafo anterior. Debe supervisarse que la renta de la tierra pagada por concepto de arrendamiento siempre sea mayor al costo de oportunidad de utilizar la tierra para fines agrícolas o ganaderos.

El incremento del porcentaje de los ingresos brutos destinados al arrendamiento de la tierra no significa un incremento en los costos de generación, sino más bien debe ser visto como una redistribución de las utilidades de los proyectos. La renta energética eólica en México en la actualidad se distribuye entre socio comercial, desarrollador y propietario de la tierra en proporciones de 73%, 16% y 11%, respectivamente (Peto 2013), por lo que es evidente la inequidad en dicha distribución, pese a que los propietarios de la tierra ponen en juego sus actividades y la rentabilidad de sus terrenos.

### **2.6 Conclusión**

La generación de energía eléctrica con base en eólica en México es ya un hecho, y el elevado potencial del viento en el territorio nacional, sustenta la posibilidad de

que el uso de este recurso se siga ampliando. El marco legislativo y las políticas públicas en torno al uso de la eólica, han logrado incentivar en cierta medida el uso de esta fuente, destacando principalmente, apertura al capital privado, algunas facilidades para realizar la conexión, tarifas preferenciales de transmisión, depreciación acelerada y exención de algunos impuestos.

En este contexto, el uso de la energía eólica en México ha incrementado, tanto para proveer de energía eléctrica al servicio público, como al sector privado. La capacidad instalada eólica total ascendió a 1,380 MW al primer trimestre de 2013. Sin embargo, su participación sigue siendo baja (1.13% de la capacidad instalada total y 0.67% de la generación bruta en el servicio público). Entre las razones por las cuales la energía eólica no se ha introducido con mayor fuerza en la generación eléctrica, encontramos las siguientes: 1) la producción de energía eléctrica continúa respondiendo esencialmente a incentivos de mercado, y aunque los costos de generación de la eólica se han vuelto más competitivos, siguen existiendo algunas tecnologías que ofrecen costos más bajos; 2) la posible escasez de los recursos fósiles y los daños ambientales que el uso de estos genera, no han logrado penetrar lo suficiente en formación de la matriz energética y/o en las políticas públicas que inciden en ésta y; 3) la infraestructura eléctrica persistente es mucho mayor de tecnologías fósiles que de renovables, lo cual implica una lenta conversión de la matriz energética, pues la intensidad de capital en las inversiones vuelve imposible que las empresas se retiren en el corto plazo, ya que esperan, al menos, amortizar el capital.

Por lo anterior, se considera que la mejor alternativa para fomentar el uso de la eólica, será influyendo a través del mercado. Se propone el cálculo y la internalización de las externalidades derivadas de la generación de emisiones de bióxido de carbono, con lo cual los costos de las tecnologías fósiles sufren las mayores variaciones, por lo tanto pierden competitividad frente a las otras. Tomando en cuenta los nuevos costos, se recrea un escenario de generación óptimo para 2012, que minimiza las emisiones de CO<sub>2</sub>, logrando una reducción del 12% de éstas, pero sin lograr cambios trascendentales en la participación de las

renovables, debido a que este escenario quedó restringido por la capacidad instalada de cada tecnología en el año señalado. El resultado más significativo que arrojó el Escenario 1, fue que mostró mediante los costos de oportunidad que el incremento de la capacidad instalada de la eólica tiene un impacto más fuerte en la minimización de emisiones que cualquier otra de las tecnologías analizadas. Con el objetivo de obtener resultados más potentes, se recrea un segundo escenario donde para 2026 se amplía la capacidad de generación. La optimización de la producción eléctrica que minimiza las emisiones de carbono logra una mayor reducción. Las emisiones de carbono promedio derivadas de la generación de electricidad en 2012 eran de 534 t/GWh, en el Escenario 1 de 466 t/GWh y en el Escenario 2 de 345 t/GWh, es decir, la producción eléctrica es menos intensiva en carbono. La conformación de la matriz energética cambia, la participación de la eólica crece de menos de 1% a casi 9% para 2026.

Para hacer efectiva la incorporación de las externalidades a los costos, se sugiere implementar un impuesto ambiental que grave las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por los productores eléctricos y destinar la recaudación de estos impuestos a incrementar la capacidad instalada de las plantas eólicas.

Finalmente, se propone la posibilidad de implementar acciones que logren mermar los graves conflictos sociales que se han originado derivados del pago por la renta de la tierra para la instalación y operación de los proyectos eólicos. Este pago en México es muy bajo en comparación con los estándares internacionales y además, el incumplimiento a los contratos y las condiciones ventajosas en las que se han firmado, han provocado, entre otras cosas que las comunidades dueñas de los terrenos muestren un rechazo a los proyectos eólicos y a las transnacionales que los operan. La propuesta consiste en la creación de un organismo federal encargado de arbitrar las negociaciones entre propietarios de la tierra y las empresas eólicas, en busca de negociaciones justas y convenientes para ambas partes. Se propone además legislar que la renta de la tierra sea equivalente como mínimo un 2.5% de los ingresos por la venta de electricidad que perciben las empresas.

## **CAPÍTULO III**

### **LA ENERGÍA EÓLICA CONECTADA A LA INDUSTRIA MANUFACTURERA Y AL CRECIMIENTO ECONÓMICO DEL PAÍS**

#### **3.1 Introducción**

Siguiendo las propuestas del capítulo dos, el incremento del uso de la energía eólica para generar energía eléctrica en México, sumado al también creciente uso de esta energía en el mundo, se traduciría en un alza en la demanda de productos y servicios que requiere la industria eoloeléctrica. A través de este capítulo, se pone en relieve la oportunidad del país para aprovechar esta creciente demanda y convertirse en fabricante de partes y/o equipos eólicos, lo que al mismo tiempo le permitiría fomentar su crecimiento económico.

En primer término se hace una aproximación de la relación que guarda el aprovechamiento eólico, con la industria de las manufacturas y con el crecimiento económico, tanto en términos empíricos como en términos teóricos.

Posteriormente, se analiza el desempeño del caso mexicano en la industria de manufacturas eólicas, estudiando las características de su economía, el nivel de producción de la industria en cuestión y las políticas públicas implementadas en torno a la misma.

Con base en lo anterior, se derivan los puntos débiles de esta industria en México y se plantean una serie de propuestas en busca de subsanar o estrechar las deficiencias y así incentivar el desarrollo de la industria de manufacturas eólicas en México.

#### **3.2 Relación entre energía eólica, industria manufacturera y crecimiento económico**

El crecimiento en el uso de la energía eólica, implica el hecho de que en la industria eoloeléctrica incrementa la demanda de productos y servicios, situación

que es de gran envergadura debido a que como toda actividad económica funcional, representa incrementos en la producción, oportunidades de negocio, fuentes de empleo, crecimiento económico e incluso desarrollo regional.

La extensión de la cadena de valor de la industria eoloelectrónica es amplia, involucrando las siguientes actividades (RENOVALIA 2005):

- Fabricación de componentes y equipos eólicos. Empresas que producen piezas, subconjuntos y conjuntos de los equipos, así como aerogeneradores, turbinas y torres eólicas en su conjunto.
- Promoción y explotación de parques. Empresas dedicadas a la puesta en marcha del conjunto de aerogeneradores y sistemas para generar electricidad, incluidas empresas de operación y mantenimiento.
- Construcción de parques. Empresas dedicadas a la obra civil y puesta en marcha del parque.
- Prestación de servicios. Empresas de ingeniería (civil y eléctrica, fundamentalmente), consultoría, financieras, gabinetes jurídicos y de otro tipo que ofrecen servicios en toda la cadena.
- Distribución de electricidad. Las compañías eléctricas representan el último eslabón de la cadena, pues son quienes poseen las líneas de transmisión de electricidad, que permiten transportar y distribuir la energía generada desde los parques eólicos hasta el usuario final. Este factor es determinante, pues la existencia o carencia de estas líneas facilita o dificulta la instalación de parques eólicos en determinadas zonas.
- Administración pública. Las instituciones gubernamentales determinan metas, plazos y criterios de procedimientos y decisiones que guían la instalación.
- Agentes científico-tecnológicos. Organizaciones que tratan de aportar soluciones para mejorar la utilización de los recursos y sistemas de generación de la energía, tales como centros tecnológicos y universidades.

La fabricación de componentes y equipos eólicos, es sin duda, la actividad económica más trascendente dentro del conjunto que involucra la industria eoloeléctrica. Y al ser la adquisición de equipos el punto de partida para la creación de un parque eólico, en muchas ocasiones los desarrolladores que no son fabricantes de turbinas, enfrentan dificultades para poder abastecerse de dichos equipos, pues hoy en día, la integración vertical de la industria eoloeléctrica es una tendencia que rige al mercado. Esta situación, representa una oportunidad de crecimiento para las economías manufactureras.

### **3.2.1 La evidencia empírica internacional**

A nivel mundial, el vínculo entre la eólica y la economía es evidente. Por ejemplo, en 2005, ya se reconocía a la industria eoloeléctrica mundial como un negocio con ventas mayores a 2 mil millones de dólares por año, creador de decenas de nuevas empresas o líneas de producción y generador de cientos de miles de empleos en varios países (Borja et al. 2005). En el 2008, el Consejo Global de Energía Eólica (GWEC, por sus siglas en inglés) estimó que el sector empleó más de 400 mil trabajadores en el mundo y el valor de la instalación del nuevo equipo de generación en ese año fue superior a 36 billones de euros (GWEC 2008). De acuerdo con la Asociación de Energía Eólica Europea (EWEA, por sus siglas en inglés), en 2010 el sector de la energía eólica contribuyó con 32.43 billones de euros al producto interno bruto de la Unión Europea, lo que representó el 0.26% del PIB total de la UE en ese año. Además, el incremento de dicha contribución al PIB creció 4.1% en el periodo, es decir, dos veces más que el incremento del PIB total. La EWEA estimó que el crecimiento más acelerado de la industria eólica que el de la actividad económica en general, seguiría siendo una característica al menos hasta el 2030 en dicha zona. Para 2020 se espera que contribuya con 0.59% del PIB en la UE y duplique el empleo que hasta 2010 generó, el cual se situó en 238,154 puestos de tiempo completo. Para 2030 la contribución al PIB llegará a casi 1% y los empleos se habrán multiplicado por tres. De tal suerte que la EWEA sugiere a los gobiernos y a la Comisión Europea utilizar a la eólica no

solo como un medio para mitigar el cambio climático y mejorar la seguridad energética, sino también como una forma para impulsar el crecimiento económico y la competitividad. La EWEA, refiere que mantener y mejorar los marcos legislativos, así como fomentar la inversión en la industria eólica, deben ser vistos como estrategias económicas, incluso en tiempos de austeridad. Tales sugerencias resultan de particular significado en la presente crisis económica europea (EWEA 2012). En el 2012, la instalación de 45 GW de nueva capacidad representó inversiones de aproximadamente 56 billones de euros (GWEC 2012).

En la industria de las manufacturas eólicas, también encontramos datos reveladores. Las principales industrias de manufactura de aerogeneradores en 2011, tuvieron empleados a más de 57 mil personas en el mundo (SE 2013a). El mercado mundial de aerogeneradores es actualmente un gran negocio. Un mercado dinámico donde los líderes se han ido reconfigurando. Grandes grupos corporativos están acaparando la producción de aerogeneradores mediante distintas estrategias. Muchos fabricantes comprometen su producción con corporativos o empresas por varios años. Algunos fabricantes absorben la producción de elementos clave, o incluso, compran las compañías que los producen (cajas de transmisión, aspas, rodamientos de gran tamaño, etc.); de hecho, ya están operando los mercados a futuro. Así, quienes acaparan la industria eoloeléctrica, no solo quieren vender aerogeneradores, lo que pretenden es vender electricidad (Borja 2008).

El poder de mercado que han alcanzado las grandes firmas, es resultado de la interacción del desarrollo de la tecnología, las actividades de investigación, desarrollo e innovación, las políticas públicas de los países, la ubicación de los productores con respecto a los mercados potenciales, la capacidad diferenciada de la mano de obra en cada región, el costo de los insumos, entre muchos otros factores. El mercado de la manufactura eólica es tan variable, que incluso de un año a otro puede haber cambios determinantes. En 2012, por ejemplo, sorprendió que la empresa danesa Vestas cayera en el segundo sitio del ranking de las

### III. LA ENERGÍA EÓLICA CONECTADA A LA INDUSTRIA MANUFACTURERA Y AL CRECIMIENTO ECONÓMICO DEL PAÍS

empresas manufactureras eólicas, después de ser la puntera del grupo por muchos años. Apenas en 2006 su participación en el mercado mundial era de 28% (Uranga 2011), disminuyendo a la mitad en 2012. Los grandes líderes de las manufacturas eólicas de hace años, han cedido terreno a las nacientes empresas chinas, quienes día con día atienden a la creciente demanda de su país y también figuran como proveedoras del mercado mundial. A mediados de la década pasada, escasamente se mostraba la china Goldwind, pero de 2009 a 2011, las empresas chinas vendieron entre 20% y 30% de los aerogeneradores que el mercado eólico demandó, superando el porcentaje de ventas de cualquier otro país. El Cuadro 3.1 muestra el ranking de las firmas más representativas durante 2011 y 2012, según estimaciones de las consultoras BTM e IHS.

Cuadro 3.1  
Principales empresas de manufactura eólica 2011 y 2012

EMPRESA	PAÍS	CAPTACIÓN DE MERCADO (%)		
		2011 (IHS)	2011 (BTM)	2012 (BTM)
GE Energy	Estados Unidos	7.7	8.8	15.5
Vestas	Dinamarca	12.7	12.9	14.0
Siemens	Alemania/Dinamarca	6.3	6.3	9.5
Enercon	Alemania	7.8	7.9	8.2
Suzlon Group	India	7.6	7.7	7.4
Gamesa	España	8.0	8.2	6.1
Goldwind	China	8.7	9.4	6.0
Goudian United Power	China	7.4	7.1	4.7
Sinovel	China	9.0	7.3	3.2
Miangyang	China	3.6	2.9	2.7

Fuente: Elaboración propia con base en datos de REN21 (2013), REN21 (2012a), Morales (2012), Santamarta (2012) y Backwell (2012).

#### 3.2.2 Una posible explicación teórica

La relación que guarda el aprovechamiento eólico y su desarrollo industrial con el crecimiento económico, bien podría explicarse como un aspecto tecnológico. El cambio tecnológico, es un determinante en la productividad de las economías. Así lo han reconocido múltiples economistas, desde Solow<sup>15</sup>, hasta sus seguidores y críticos. Kuznets por ejemplo, declara que desde la segunda mitad del siglo XIX, la principal fuente del crecimiento económico en los países desarrollados había sido

<sup>15</sup> Aunque Solow y gran parte de sus colegas y contemporáneos proponían teorías de cambio tecnológico exógeno.

la tecnología basada en la ciencia. Los historiadores económicos también han colocado a la tecnología en el centro del crecimiento económico moderno. En 1986, Paul M. Romer desarrolló un interesante modelo, donde la producción depende de los factores convencionales, como el trabajo y el capital, pero también del acervo de conocimientos de una economía. El acervo de conocimientos aumenta con el tiempo, a medida que las empresas invierten en la acumulación de éstos. La producción de las empresas depende de los factores privados de las mismas, incluyendo su acervo de conocimientos privados, así como el acervo agregado de conocimientos públicos de la economía. Así, las empresas tienen incentivos para invertir en conocimientos privados. Sin embargo, esta inversión contribuye al acervo agregado de conocimientos públicos y de ahí, constituye una externalidad, en este caso positiva. El aumento del acervo de conocimientos públicos, aumenta la productividad de todo el mundo. En tales circunstancias, la productividad marginal decreciente de los conocimientos privados, hace que las empresas se comporten competitivamente, mientras que la economía se encuentra con economías de escala y una productividad marginal creciente de los conocimientos. Como los conocimientos agregados no tienen rendimientos decrecientes, la tasa de crecimiento no tiene que disminuir, puede aumentar con el paso del tiempo hasta que converge con una tasa de crecimiento a largo plazo o incluso puede aumentar ilimitadamente. De tal forma, las externalidades positivas son la fuente del crecimiento económico (Helpman 2004).

Años más tarde, en 1990, el mismo Romer formuló una nueva teoría sobre el crecimiento económico, empero también, basada en el cambio tecnológico. En esta segunda oleada, Romer expone que las empresas invierten recursos en I+D con el fin de desarrollar nuevos productos (innovaciones), los cuales quedarán protegidos por patentes y los innovadores conseguirán un poder de monopolio que utilizarán para obtener más beneficios. Pero, como ningún sistema garantiza la protección absoluta, los innovadores crean sin proponérselo, conocimientos que no se plasman como contenido protegido, por lo que otros acceden a estos

conocimientos y los futuros costos de inversión en I+D de todos disminuyen. Así, el acervo de conocimientos al que pueden acceder los innovadores, es una función de los esfuerzos dedicados anteriormente a la I+D. Este efecto difusión de I+D, como ya se mencionó, reduce los costos de I+D, pero a medida que se inventan más productos, la competencia entre sus oferentes reduce los beneficios de cada uno de ellos, es decir, reduce los beneficios del producto. Entonces, el incentivo para innovar disminuye o aumenta con el tiempo, dependiendo del ritmo al que desciendan los costos de I+D en relación con sus beneficios (Ibidem).

Ahora bien, la trascendencia de la industria manufacturera dentro de la economía de un país, ha sido discutida desde hace muchos años, y aunque al día de hoy, debido a los cambios en la estructura productiva del mundo entero, no podemos aceptar como cien por ciento ciertas las leyes postuladas por Kaldor<sup>16</sup>, si podemos aceptar que esta industria manufacturera sigue siendo un importante motor de la actividad económica.

Algunos autores señalan que, ante el desarrollo de una economía, el crecimiento del flujo de ingreso acarrea una diversificación de la demanda, siendo una de las características de tal diversificación, el incremento más que proporcional de la demanda de productos manufacturados, lo cual se explica por el hecho de que la actividad manufacturera siempre puede producir nuevos productos o modificar la forma en que se producen. De tal forma, la elasticidad ingreso de la demanda de productos manufacturados es mayor a la unidad (Furtado 1968).

### **3.2.2.1 Determinantes del cambio tecnológico**

Precisar qué factores inciden en el cambio tecnológico, es indispensable para trabajar sobre ellos e impulsar tanto el desarrollo de la industria eóloeléctrica como

---

<sup>16</sup> Las tres leyes de Kaldor sugieren que la industria manufacturera es el factor determinante para el crecimiento económico del país, situando a esta industria por encima de cualquier otra actividad. Kaldor señala a la industria manufacturera como pieza clave para explicar las diferencias en las tasa de crecimiento en las fases de desarrollo económico de un país. Incluso da gran importancia al proceso de trasvase de mano de obra del sector no manufacturero al sector manufacturero (Galindo y Malgesini 1994).

el crecimiento económico. En esta investigación hemos clasificado estos factores en:

- Investigación y Desarrollo (I+D)
- Innovación
- Relación entre I+D e innovación
- Transferencia tecnológica

### ***Investigación y Desarrollo (I+D)***

Son actividades encaminadas a la producción de conocimientos, abordan tanto investigación básica como investigación aplicada, sin embargo enfrentan múltiples complejidades. Una de las dificultades centrales en la investigación básica, es la evaluación cuantitativa de sus resultados. El producto de la investigación básica, casi nunca es un producto final al que el mercado pueda poner etiqueta y precio, el producto es una nueva forma de conocimiento que no tiene una dimensión clara, es como un bien intermedio que desempeña un papel en la invención de otro bien final. Cuando la investigación básica está aislada del resto de la empresa, es probable que se vuelva estéril e improductiva, a pesar de haber generado conocimientos. Probablemente a partir de ello, se incluyó como una nueva categoría, la investigación aplicada, aunque en realidad resulta difícil distinguir entre investigación básica e investigación aplicada; la diferencia podría radicar en los móviles del investigador, pero esto no ayuda mucho, ya que en múltiples ejemplos de investigación aplicada, acaba dando frutos de investigación básica. Otro problema, es que frecuentemente se considera que los resultados de la investigación quedan disponibles sin costo para el resto de las empresas, aunque en este sentido, sería importante considerar que incluso entender, evaluar e interpretar ese conocimiento requiere de una capacidad, que resulta costosa. De tal forma, si la generación de nuevos conocimientos genera oportunidades comerciales, el cálculo relevante supone, no el tamaño de los excedentes, sino si

la firma que lo realiza puede disponer de los suficientes beneficios generados para que la inversión sea productiva (Mowery y Rosenberg 1992).

La economía neoclásica trata como elemento crítico en la decisión de invertir en investigación básica a los dividendos de esta inversión. Por ello su marco de análisis está centrado en la apropiabilidad de los rendimientos del resultado de la investigación. Arrow afirmaba que las firmas incurrían en costos para producir conocimientos científicos o tecnológicos y los costos de transferir estos conocimientos eran nulos, lo que hacía de la información un bien público. Tal situación conducía a insuficiente investigación básica, debido a la separación de precios óptimos privados y sociales. Consideró improbable que la investigación básica cosechera frutos, pues su rendimiento solo era utilizado como insumo de información para otras actividades de investigación. En contraparte, creyó que la única probabilidad de que estos conocimientos tuvieran valor comercial para la empresa que los realiza, sería impidiendo que otras empresas usaran la información. Pero tal restricción disminuiría la eficiencia de la actividad y también podría disminuir su cantidad. Los beneficios sociales de la inversión en investigación son mayores que los que obtenía la empresa, condición que llevaría a la inversión insuficiente de la empresa, desde el punto de vista social. Una manera de minimizar los costos de la investigación, podría ser cooperar con otras instancias, lo cual además de disminuir el costo, podría incrementar la eficiencia y disminuir los costos del fracaso de un programa de investigación. Aunque la investigación conjunta debe ser abordada también con reservas, pues se trata de un complemento y no de un sustituto de la investigación interna, además podría reducir el mayor esfuerzo de investigación y fomentar una conducta no competitiva (Ibidem).

### ***Innovación***

Históricamente, la teoría del empresario, dentro del marco neoclásico, aborda por primera vez de forma explícita el tema de la innovación. En esta teoría, la preocupación por las interrelaciones entre la forma de organización de la

producción y el proceso de acumulación, se hace latente. Schumpeter, uno de sus representantes, formula una teoría donde el empresario es el agente transformador del sistema económico. La acción creadora del empresario, desde la visión schumpeteriana es el motor del progreso económico y tal acción se manifiesta a través de la introducción de innovaciones al proceso productivo. Estas innovaciones tienen la capacidad de generar ganancias para el empresario (Furtado 1968).

En 1980 se inició la construcción de un nuevo cuerpo teórico que constituye la teoría neoschumpeteriana o evolucionista del crecimiento económico. En ella la innovación tecnológica es el factor central explicativo del crecimiento económico. La trascendencia y reconocimiento del papel de la innovación en el campo económico cobró fuerza sobre todo en las últimas décadas. De ahí que, constantemente se define y redefine la innovación en busca de un concepto que logré integrarla holísticamente. En 1988, Dossi relaciona a la innovación con la búsqueda, descubrimiento, experimentación, desarrollo, imitación y adopción, no solo de nuevos productos y procesos, sino también de nuevas formas organizacionales. Otra concepción interesante es aportada por Edquist en 1997, que define a la innovación como la producción de nuevo conocimiento o la combinación de conocimiento existente en formas nuevas para transformarlo en productos o procesos económicamente significativos (Flores Verduzco 2003: 51-52).

Para Mowery y Rosenberg (1992), la innovación tecnológica es la aplicación del conocimiento científico en las actividades del proceso de transformación para la creación de nuevos productos y nuevos procesos de fabricación, aunque también reconocen que muchas de las fuentes primarias de la innovación se localizan en los procesos de transformación sin ninguna dependencia inicial de los estímulos de la investigación científica de frontera.<sup>17</sup> De esta suerte, las actividades productivas presentan diversas posibilidades y modalidades de incorporar

---

<sup>17</sup> A lo que Schumpeter llamo actividad inventiva menor (Katz 1976).

innovaciones, las cuales no son igualmente rentables, dependiendo del carácter radical<sup>18</sup> o incremental<sup>19</sup> de las mismas, así como de la facilidad de imitación por parte de potenciales competidores (Capdevielle 2003).

El florecimiento de las innovaciones resulta de la interacción de múltiples acciones y actores y como consecuencia de aprendizaje tanto formal como informal. El aprendizaje no sólo se da de manera unidireccional del sector educativo/investigación hacia el sector productivo, sino que puede surgir en el mismo proceso de producción, de comercialización y en las relaciones interempresariales. En la manufactura se ha identificado que existe una fuerte curva de aprendizaje en las actividades diarias. Diversos autores han intentado definir las formas de aprendizaje tecnológico, tan difícil de codificar, destacando los siguientes:

- *Learning by doing.* Término introducido en 1962 por Arrow para conceptualizar al conocimiento que es adquirido en la rutina diaria al solucionar los problemas técnicos y los imprevistos en la producción; todo proceso productivo lleva adherido en sí mismo cambios tecnológicos, ya sean radicales o incrementales; resulta de la experiencia de la manufactura del producto.
- *Learning by using.* Definido por Rosemberg en 1983 como el aprendizaje que se da a través de las experiencias que se obtienen con nuevos productos y técnicas productivas, dando lugar a una acumulación progresiva de habilidades; es el resultado de lo que pasa cuando los usuarios tienen la oportunidad de usar el producto por largos periodos.
- *Learning by interacting.* Acuñado por Lundvall en 1988, considera la cooperación entre usuarios y productores de maquinaria y otros inputs y el conocimiento obtenido a través de experiencias de aprendizaje

---

<sup>18</sup> Surgen de una alta capacidad científica y de un sistema de producción e innovación articulado, por lo que son difíciles de imitar.

<sup>19</sup> Actividad inventiva menor, fácil de imitar.

acumulativo; es decir *learning by doing* y *learning by using* ocurren en un espacio determinado donde interactúan y se enriquecen con el tiempo.

- *Learning to learn*. Propuesto por Stiglitz en 1987, sugiere que el aprendizaje se da dentro del propio proceso de trabajo desarrollando la habilidad de apropiarse de hábitos nuevos, sustituyendo formas de saber hacer menos eficientes.
- *Aprendizaje colectivo*. Villavicencio en 1989 afirma que este tipo de aprendizaje surge cuando los usuarios directos (obreros de línea) de la maquinaria están activamente involucrados en el momento de la instalación del equipo, con lo cual es probable que se disminuya el tiempo de aprendizaje de la operación y/o se pueden evitar fallas en el equipo provocadas por el desconocimiento de información no comunicadas por el proveedor.
- Los conceptos anteriores, pueden incluirse en un modo aún más amplio, denominado *learning in working*, que es el proceso de ir adquiriendo conocimientos y habilidades en la práctica laboral tanto a niveles técnicos como organizacionales (Casalet 1996; Rivero y Díaz-Berrio 2003; Salado 2002).

En términos prácticos, la innovación crea valor a partir de cualquier tipo de conocimiento. Hoy en día, se reconoce que es un factor determinante en los resultados de las empresas y además que ocurre de manera conjunta y no aislada, mediante una continua interacción con otras empresas, con organismos públicos y privados o con universidades e institutos de educación superior, inclusive además con otros países.

Al igual que las actividades de I+D, la innovación tecnológica también presenta retos para su comprensión y evaluación. Tiene pocas posibilidades de ser medida con precisión y posee una naturaleza cualitativa, irreversible, acumulativa y además, sujeta a la incertidumbre (Flores Verduzco 2003: 51).

### ***Relación entre I+D e innovación***

Hablando estrictamente de la innovación de carácter radical, es necesario considerar la relación que existe entre ésta y las actividades de I+D. Mowery y Rosenberg (1992) proponen un marco alternativo para estudiarla. Afirman que el análisis del fracaso del mercado señalado por los neoclásicos, debe complementarse con el análisis de las condiciones que afectan la utilización de los resultados de investigación y desarrollo. Una de las deficiencias de los neoclásicos fue no analizar la estructura y organización del sistema de innovación, pese a ser vital. La distribución y utilización de los resultados de investigación y desarrollo son críticos y no solo la suficiencia o insuficiencia de la oferta. Aun si el fracaso de mercado fuera resuelto, las consecuencias sobre la distribución y utilización serían inaceptables. Es necesario analizar el proceso a través del cual la investigación se convierte en innovación comercial. Los procesos de innovación y transferencia de conocimiento no son acontecimientos en una sola dirección, consecuencia de la transferencia de conocimiento científico a la innovación, más bien son resultado de un flujo sostenido de información en doble vía. Hay una fusión de lo técnico y lo económico, una estrecha relación entre investigación, comercialización y producción.

### ***Transferencia tecnológica***

El avance tecnológico en los países desarrollados, contrasta con el incipiente alcance en la misma materia de los subdesarrollados. La creciente apertura de la economía al comercio internacional ha fomentado de cierta manera que los progresos tecnológicos rebasen fronteras, pero la transferencia tecnológica no parece cooperar con el cierre de la gran brecha. Helpman (2004) distingue algunos aspectos que en este contexto son importantes de destacar.

- El acceso a un mercado mayor aumenta la rentabilidad de las actividades relacionadas con la invención y fomenta el gasto en I+D; el comercio internacional permite acceder a mercados mundiales.

- Con la integración, hay exposición a la competencia. Empresas nacionales compiten con firmas extranjeras; si la competencia perjudica los beneficios, hay menos incentivos para gastar en I+D y por lo tanto la innovación también disminuye. Aunque también podría ser que, la competencia induzca a los líderes tecnológicos a distanciarse más deprisa con el fin de evitar la competencia de sus seguidores, entonces incentivaría la I+D y la innovación.
- El comercio y la inversión extranjera directa, alteran los precios interiores de los factores. Si esto abarata I+D, entonces la invención aumenta, o viceversa. Así, la protección puede acelerar o frenar las actividades IDTI. El efecto que produce la protección, será distinto dependiendo de las condiciones de cada país.
- Cuando hay comercio internacional, desaparece la posibilidad de que se realice la misma I+D en los distintos países. Al competir con un mercado mundial, se minimizan las posibilidades de que se realice la misma I+D, por lo tanto acelera el crecimiento del acervo de conocimientos fruto de I+D y reduce los costos de I+D.
- El acceso a oferentes extranjeros, permite acceder a factores intermedios y bienes de capital especializados que se producen en otro país. Esto aumenta la variedad de los factores de los que se puede disponer para producir.
- El acervo de conocimientos que afecta los costos de la I+D puede ser compartido por todos o puede ser específico de un país. Cuando los efectos difusión de I+D son de ámbito internacional, fomentan convergencia; cuando son específicos de un país, divergencia. En este punto, es indispensable considerar a qué ritmo ocurre la difusión, pues debido a que los flujos internacionales son más lentos que los flujos interiores, se puede generar una fuente de divergencia. En el caso extremo, cuando no hay flujos, el país que tiene la ventaja inicial, la amplía con el tiempo. El país domina el sector de alta tecnología a largo plazo.

Desde otro enfoque, el ritmo del cambio tecnológico está dado por la actividad inventiva (incluye actividades de I+D e innovación) y el flujo de tecnología y conocimientos que se reciben del exterior, ya sea en forma incorporada (de los bienes de capital que importa) o desincorporada (planos, diseños de ingeniería, manuales, etcétera). El costo marginal de la tecnología desde el punto de vista de quien la transfiere es frecuentemente cercano a cero. En cambio el costo marginal de la misma para el comprador, pensando en que habrá que desarrollarla localmente, podría alcanzar sumas verdaderamente considerables. El precio acordado, finalmente en la transferencia, puede pues, fluctuar entre cero y miles o millones de dólares, y se toma la decisión final únicamente sobre la base del poder relativo de negociación de cada una de las partes. En el proceso de modernización basado en la transferencia tecnológica, se distinguen dos fases. Fase de adquisición o incorporación: llegan al país importador con cierto rezago de tecnología, y por lo general como parte de una negociación o acuerdo contractual entre firmas locales y empresas licenciatarias del exterior o como parte de un paquete global de inversión extranjera directa. Fase de aprendizaje o asimilación: adaptación y adecuación del producto o proceso a las condiciones del medio receptor; la empresa gasta en aprender y al hacerlo genera un flujo más o menos significativo de actividad inventiva doméstica; constituye actividad inventiva de tipo adaptativo (Katz 1976).

La apertura de la economía al comercio internacional, la rápida transferencia internacional de tecnología y el crecimiento de importaciones, han reestructurado al sistema de I+D y han intensificado presiones competitivas. Las ventajas competitivas que antes suponía la investigación básica se han erosionado por la transferencia internacional (Mowery y Rosenberg 1992). Hoy en día se reconoce que la brecha tecnológica no solo consiste en la incapacidad para generar

tecnología propia, sino también en la incapacidad para seleccionar tecnología adecuada, adaptarla y desarrollarla<sup>20</sup>.

### **3.2.2.2 Política industrial**

Teóricamente han quedado identificados los principales factores capaces de detonar el desarrollo industrial y por lo tanto impulsar el económico. Ahora bien, es necesario anotar que el desempeño de éstos no siempre es tan bueno como sería deseable para el desarrollo de las naciones. Por ello, es nuevamente indispensable la intervención estatal como medida para impulsar al sector secundario, lo cual es posible hacer a través de medidas de política industrial.

Autores liberales consideran que la política industrial es necesaria para hacer frente a fallas o imperfecciones de mercado y que debe ser aplicada de forma horizontal, es decir, sin ser selectiva de sectores o actividades. Sin embargo, autores neoschumpeterianos/evolucionistas aportan una concepción distinta de la política industrial, resaltando los siguientes puntos:

- Descartan la hipótesis del equilibrio y parten de supuestos más realistas, donde el comportamiento de los agentes se basa en una racionalidad limitada (o condicionada) y el conocimiento es predominantemente tácito o idiosincrásico.
- La política industrial debe ser activa y de gran alcance, pues afirman la existencia de una coevolución de tecnologías, estructuras empresariales e industriales e instituciones, cuya fuerza motora es la innovación; en otras palabras, es necesaria una política que tome la batuta de esta complejidad.
- Consideran que la política industrial debe orientarse a sectores o a actividades industriales inductoras de cambios tecnológicos y al entorno económico e institucional.

---

<sup>20</sup> Una característica del modelo industrial japonés, es la llamada “ingeniería en reversa”, que puede definirse como la capacidad de asimilar tecnología avanzada extranjera para adecuarla a la escala y a las condiciones locales de producción y comercio (Viniestra 2007).

- La política industrial debe fijar metas específicas y ser objeto de una firme decisión política.
- Para el logro de las metas es indispensable una colaboración estratégica entre el gobierno, las empresas y las entidades del sector privado (y no una coordinación centralizada en el Estado).
- Es necesario compatibilizar la política industrial con la política macroeconómica, pues los desequilibrios de la segunda, podrían hacer que la primera se orientara en mayor medida a problemas de corto plazo (Suzigan y Furtado 2006).

Otis Graham (1992 citando en Cardero y Domínguez 2007: 23) define política industrial como “la totalidad de esfuerzos para influir en el desarrollo sectorial y, por lo tanto en el portafolio de la industria nacional, declarada oficialmente por la nación”.

Así, el enfoque neoschumpeteriano/evolucionista considera que la política industrial debe ser una actividad *ex ante* y no una política de respuesta ante los denominados desequilibrios del mercado y además, debe ser selectiva de sectores o actividades, con lo cual será capaz de mayores logros que mediante una política de tipo horizontal.

Además, en los países en desarrollo, la escasez de recursos económicos para apoyo y el rezago tecnológico en relación con las industrias de los países desarrollados, hacen necesario focalizar esfuerzos en determinados sectores, pues intentar competir en todos sería un ejercicio infructuoso y significaría desperdicio de recursos (Basave 2010).

### **3.3 El escenario en México**

En México contrastan, por un lado el potencial eólico y el crecimiento del uso de la eólica para generar electricidad, y por el otro, el incipiente desarrollo de la industria eoloeléctrica nacional, pues son empresas privadas externas las que proporcionan

prácticamente todos los productos y servicios en todas las fases de los proyectos eólicos. Las implicaciones favorables en el crecimiento económico de México derivadas de la operación de esta industria, podrían ser amplias, sin embargo, con la actuación del país solo como proveedor de territorio y de viento – el cual, según Peto (2013), ni siquiera es valuado correctamente – , dichas implicaciones, son prácticamente inexistentes. La mayor parte de los beneficios de la industria eoloeléctrica que opera en México han ido a parar a manos de transnacionales, situación que lejos de impulsar el bienestar nacional, ha creado incluso graves conflictos de tipo social. Concretamente, México podría incursionar en la fabricación de componentes y/o equipos eólicos, pues al ser un país manufacturero, la manufactura eólica puede convertirse en un catalizador de esta rama del sector industrial, el que hoy en día sigue siendo una parte elemental de la actividad económica nacional.

Algunos de los elementos que podrían favorecer el desarrollo de la industria de las manufacturas eólicas, son:

- Experiencia en industrias afines. El éxito de México en las industrias automotriz y eléctrica-electrónica, aporta una plataforma de metodología especializada en infraestructura, que favorece el desarrollo del sector de energías renovables en México y permite la optimización de las cadenas de suministro, programas de apoyo comunes y ventajas sinérgicas.
- Bajos costos. En costos de manufactura para la industria de baterías avanzadas en el sector de energías verdes, México ofrece 12.9% de ahorro en comparación con Estados Unidos.
- Recursos humanos. El país cuenta con recursos humanos aptos, tanto en áreas de ingeniería, sobre todo mecánica y eléctrica, como con mano de obra especializada. De acuerdo con estimaciones de CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), en 2012 se graduaron 111.4 mil estudiantes de ingeniería y tecnología; según cifras de 2010 de UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la

Cultura), en México hay 18% más graduados en ingeniería en manufactura y construcción per cápita que en Estados Unidos (SE 2013d).

- De acuerdo al Reporte Anual Eólico 2011 (Borja 2012), son más de 200 empresas mexicanas las que tienen capacidad para fabricar algunas piezas necesarias para turbinas eólicas y plantas de energía eólica.
- Desaceleración de los proveedores de la cadena de suministro, debido a la creciente integración vertical de la industria.
- Cercanía con Estados Unidos, cliente potencial de las industrias manufactureras en general.

De tal suerte, el sector de las manufacturas eólicas, constituye una actividad en la cual pueden aprovecharse las ventajas competitivas del país y además acorde con las tendencias de demanda de la economía tanto a nivel nacional como internacional.

Pero si México continúa con el rol pasivo que hasta ahora ha asumido, regulando las actividades para que el mercado pueda operar e incentivando medianamente el aprovechamiento de la eólica, sin poner mucha atención a su industria, derivaría en la continuidad del estancamiento eoloeléctrico industrial e incluso podría representar una barrera de tipo social para el crecimiento de la instalación de capacidad. Para lograr una vinculación positiva del uso de la energía eólica, el desarrollo de su industria y el crecimiento económico de la nación, será indispensable una estricta planeación del sector. La planeación, exige la definición de estrategias y objetivos de largo plazo, así como la determinación de políticas tecnológico-industriales para el impulso a nuevas tecnologías relacionadas en este caso con la energía eólica, considerando incluso la búsqueda de nuevos senderos de crecimiento. Ante un mercado energético globalizado, con mayor apertura, desregulación y liberalización, es indispensable replantear el papel del Estado, de sus capacidades y de sus instrumentos de planeación (De la Vega 2012).

Algunos de los efectos económicos más palpables que podría detonar el desarrollo de la industria de manufactura eólica, serían su contribución al PIB y la creación de empleos. Hasta ahora, no hay estudios serios que revelen datos concretos en torno a estas posibilidades, no obstante, datos relacionados alrededor de la actividad, podrían ayudar a sustentar la importancia de dicha industria.

Para comenzar, es importante destacar que el sector industrial en México sigue siendo relevante<sup>21</sup>. El producto interno bruto del sector secundario en el país en el año 2011 – 2,755 miles de millones de pesos a precios constantes de 2003 –, contribuyó con poco más del 30% al PIB total, porcentaje que se ha mantenido sin variaciones sustanciales al menos durante la última década; por su parte el PIB manufacturero representó el 58% del PIB industrial (INEGI 2013). La trascendencia de la producción industrial y de la producción manufacturera dentro de ella, justifica en parte el afán de impulsar la industria de manufacturas eólicas en el ámbito nacional. En 2011, la producción real del sector de las industrias metálicas representó el 8.62% de la industria manufacturera total y el sector de fabricación de maquinaria y equipo el 30.65%. Mientras que, como porcentajes de la actividad económica total, alcanzaron el 1.59% y el 5.67%, respectivamente (Ibidem). En un nivel un poco más específico, el sector de las manufacturas eléctricas alcanzó en 2012 un valor agregado real de 50,477 millones de pesos, lo que representó el 3.01 % de la industria manufacturera y el 0.53 % de la economía nacional. Cabe destacar que, dicha participación era mayor antes de la crisis de 2009, por ejemplo en 2007 y 2008 que representó alrededor del 3.4%, lo cual manifiesta la sensibilidad del sector a choques externos (Millán 2013).

En el campo laboral, muchos de los empleos que generan las energías renovables son temporales, pues gran parte del personal únicamente se contrata durante los periodos de planeación y construcción, ya que durante la operación el número de trabajadores es relativamente bajo. Sin embargo, hay que destacar que en el

---

<sup>21</sup> A pesar de la tendencia hacia la desindustrialización de muchas economías.

campo de las manufacturas de maquinaria y equipo eólico, es posible generar más empleos de forma estable, pues los diversos productos ofrecidos por este tipo de fabricantes, pueden atender más de un sector y de conseguir posicionarse en el mercado, serían capaces de atender una demanda constante e incluso creciente.

Si se logra impulsar la industria de las manufacturas eólicas, se logrará en cierta medida, estimular la competitividad, las inversiones, la participación social y privada en éstas, la creación de empresas, la creación de empleos, el desarrollo tecnológico, la disminución de la variabilidad de costos, el aumento de productos hechos en México y en general el crecimiento económico nacional.

### **3.3.1 Manufactura de aerogeneradores en México**

Pese a todos los argumentos, la realidad es que México aún no cuenta con tecnología propia de aerogeneradores y la industria nacional de manufacturas eólicas, cuenta con apenas escasos y pequeños productores. De seguir por el mismo camino, la brecha podría hacerse más profunda y, por consiguiente, la dependencia tecnológica se iría arraigando.

Al día de hoy, los pocos fabricantes de componentes eólicos en México, son:

#### Fabricación de generadores

a) **Potencia Industrial S.A.**

Empresa mexicana ubicada en el Distrito Federal, que durante más de 50 años se ha especializado en el diseño y fabricación de motores eléctricos, generadores y sistemas de energía eléctrica de calidad. En 1975 inició el desarrollo de generadores de inducción tipo jaula y de imanes permanentes para aplicaciones eólicas y en 1976 obtuvo una patente para el primer generador eólico de imanes permanentes de tracción directa del mundo. A partir del desarrollo de su propia turbina eólica de tracción directa de 5 kW y 28 polos en 1975, Potencia Industrial ha evolucionado; en los 90's diseñó y construyó generadores de rotor bobinado de doble alimentación de 750 kW

para Zond y Enron; recientemente ha desarrollado la tecnología de avanzada en generadores de imanes permanentes para turbinas multimegawatt para Clipper Windpower. En 2008, entregó más de 2,000 MW a la industria eólica. En la actualidad la firma fabrica generadores de inducción, de rotor bobinado, de polos salientes y de imanes permanentes. Los generadores eólicos fabricados por Potencia Industrial, son exportados a Estados Unidos para turbinas Clipper. Es la única empresa en México que diseña y fabrica maquinaria eléctrica rotatoria hecha a la medida de las necesidades de sus clientes utilizando materiales estadounidenses. Ofrece generadores a precios competitivos en dólares, muy cercanos a los de cualquier parte del mercado norteamericano.

La trayectoria de Potencia Industrial la ha hecho acreedora a diversos premios y reconocimientos. Clipper Windpower la distinguió en 2009 como “# 1 in Delivery”, en 2008 le otorgó la categoría de “Mejor Tecnología” y el “Reconocimiento por suministro oportuno”. En 2004 obtuvo el primer lugar en innovación en el Premio Nacional de Energía Renovable otorgado por la Secretaría de Energía. En 1999 ganó el Premio de Exportación del Gobierno del Distrito Federal (Potencia Industrial 2013).

b) Dynamik Kontroll

Empresa de origen estadounidense, reconocida como el primer diseñador y fabricante de aerogeneradores mayores de 1MW de potencia en México (Modu Tram 2013). En 2006 se instaló en Guadalajara para comenzar a operar y fabricar aerogeneradores en México. Esta empresa manufactura los siguientes productos:

- Turbina Dynko Isthmus 1500. Construida específicamente para las condiciones ambientales de la región intertropical americana, altas temperaturas, humedad, grandes velocidades de viento y fuertes ráfagas multidireccionales.
- Aerogenerador Serie DYNKO MY1.5 (Dynamic Kontroll 2013).

### Fabricación de palas

a) Vientek, LLC.

Empresa conjunta con Mitsubishi Power Systems Americas, Inc. (MPS) y TPI Composites, Inc. (TPI), fabricaba aspas para generadores de energía eólica. Vientek se instaló en Cd. Juarez en 2002 y se retiró en 2012. Durante su estancia en dicha ciudad, hubo incluso expansiones debido a la alta demanda de sus productos, que eran destinados a exportación al mercado estadounidense, principalmente a Texas. En 2012 la empresa se retiró de la frontera, debido a que transportar las hélices por carretera era muy costoso, pues las dimensiones del producto, implicaban altos costos en cuidar su traslado (Olmedo 2008; El Monetario 2012; La red noticias 2013; Salazar 2012; TPI Composites 2013).

### Fabricación de torres

a) Trinity Industries de México

Trinity Industries de México es subsidiaria de Trinity Industries Inc., la cual se compone de cinco segmentos de negocios: carros de ferrocarril, arrendamiento y servicios de carros de ferrocarril, barcasas para navegación fluvial, productos para la construcción y productos industriales. Trinity ofrece una extensa gama de fabricación de torres estructurales, adecuadas a las necesidades de la industria internacional de energía eólica. Estas torres pueden ir de 30 a 90 metros de altura, en tipos de 2 y 3 secciones con diámetro de hasta 4,000 mm., y se fabrican conforme a las especificaciones de cada diseñador (Trinity Industries de México 2013).

b) Tubac

Empresa mexicana dedicada a la fabricación de tubos de acero y piezas a la medida de sus clientes, incluyendo diversas aplicaciones para la industria, incluyendo el mercado eólico (AMDEE 2013).

c) CS Wind Corporation

Empresa coreana que en 2010 se instaló en Matamoros, Tamaulipas, para fabricar torres de acero para el mercado eólico. Su producción se destina totalmente a la exportación para abastecer el mercado estadounidense (Econoticias 2010; Jiménez 2010).

d) Speco Wind Power

Empresa coreana que inicio operaciones en Monclova, Coahuila, en 2009, realiza torres eólicas que vende principalmente a empresas europeas que instalan parques en México y Estados Unidos (Garza 2013).

e) Enertech Fabricaciones

Empresa metal-mecánica mexicana ubicada en la región centro de Coahuila desde 1951, formando parte del consorcio del Grupo Industrial Monclova. Dedicada a la fabricación y ensamble de equipos pesados para la perforación y explotación de minas subterráneas, y de cielo abierto, accesorios para plataformas marinas, estructuras metálicas y componentes para plantas de generación de energía, tales como torres eólicas (Enertech Fabricaciones 2013).

#### Fabricación de transformadores eléctricos

a) Prolec GE

Localizado en Monterrey, es uno de los fabricantes de transformadores eléctricos más grandes de América, ofreciendo la gama completa de productos para aplicaciones de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. Para las aplicaciones de la energía renovable, ofrece eficientes transformadores de generación trifásicos, donde los ahorros de energía son decisivos para el éxito económico sobre el tiempo de vida del proyecto (Prolec GE 2013).

#### Otros componentes para energía eólica.

a) Kaydon

Con dos plantas ubicadas en Monterrey, Nuevo León, Kaydon se dedica a la fabricación de rodamientos de hasta 144” de diámetro. Una parte de esta producción está destinada para el mercado de energía eólica. Estas plantas sirven a sus mercados a través de un centro de distribución en Laredo, Texas (Kaydon 2013).

b) Liebherr

Empresa instalada en 2009 en el municipio de García, Nuevo León, donde se fabrican componentes eólicos, turbinas, grúas, entre otros (Reve 2009). Para el mercado eólico, Liebherr fabrica cilindros hidráulicos, accionamientos de giro, motores eléctricos y rodamientos de gran tamaño (Liebherr 2013).

c) Frisa

Empresa establecida en 2003 en Nuevo León, cuenta actualmente con tres plantas en dicho estado, donde fabrican principalmente rodamientos para abastecer diversas industrias, tales como aeroespacial, construcción, minería, petróleo, gas, eólica y maquinaria en general (Frisa 2013).

d) Industrias Auge

Fabricante de sistemas de anclaje y sujeciones para las industrias petroquímica, eólica, química, construcción y fabricantes de equipo industrial. Empresa 100% mexicana fundada en 1965 con más de 200 empleados. Con instalaciones en su planta en Lerma, Estado de México, oficinas comerciales en la Ciudad de México y Villahermosa, Tabasco, centro de distribución y venta en Houston, Texas, centro de distribución en Francia, y oficinas de atención y soporte en China, Industrias Auge es proveedor de empresas eólicas globales como Iberdrola, Gamesa y Siemens. A agosto de 2011, esta empresa ya había suministrado en forma integral el sistema de anclaje para cimentación para más de 100 aerogeneradores (Industrias Auge 2011).

Según la SE (2013b), las exportaciones de manufacturas eólicas de México en 2010, ascendieron a casi 7.5 miles de millones de dólares, mientras que las importaciones de estos productos sumaron más de 6.5 miles de millones de dólares en el mismo año (ver Cuadro 3.2). Dado que las exportaciones de manufacturas totales en México fueron de 245.7 mil millones de dólares (INEGI 2013), entonces las eólicas conformaron el 3% de las exportaciones manufactureras mexicanas.

**Cuadro 3.2**  
**Exportaciones e importaciones de manufacturas eólicas en México, 2010**

Exportaciones			Importaciones		
País destino	MM US\$	Participación	País origen	MM US\$	Participación
Estados Unidos	6,883	92.1%	Estados Unidos	3,429	52.3%
Canadá	99	1.3%	China	1,116	17.0%
Alemania	50	0.7%	Alemania	369	5.6%
Colombia	39	0.5%	Japón	309	4.7%
Otros	401	5.4%	Otros	1,332	20.4%
Total	7,472	100%	Total	6,555	100%

Fuente: SE (2013b).

Es importante considerar que las dimensiones de las exportaciones no brindan en sí mismas un dato confiable del nivel de desarrollo industrial, lo cual será analizado con mayor detalle en la sección 3.4.1.

### **3.3.2 Políticas públicas para las manufacturas eólicas en México**

Hasta ahora, la conexión entre el uso de la energía eólica, el desarrollo de su industria y la economía nacional, todavía no destaca como una línea de acción específica en las políticas públicas planteadas por el Estado. No obstante se han encauzado algunos esfuerzos para el desarrollo de dicha industria, aunque desafortunadamente los resultados no han tenido grandes alcances.

En esta sección se exponen algunos lineamientos de las actuales políticas industrial y comercial, algunos donde ya se han delineado tareas encaminadas a impulsar el desarrollo del sector manufacturero eólico y otros donde podría encajar tentativamente la política industrial para el sector.

### 3.3.2.1 Política industrial mexicana

Según describe la Secretaría de Economía, la política industrial en México actualmente está enfocada en el incremento de la productividad, pues supone que el bajo crecimiento de la economía está ligado a los bajos niveles de productividad, distinguiendo así, los siguientes objetivos:

- Fortalecer y desarrollar el mercado doméstico con la misma solidez que el externo.
- Fortalecer las industrias infantiles que cuenten con ventajas comparativas.
- Incrementar la innovación, la promoción del capital humano y el intercambio de tecnología entre las industrias.
- Proporcionar información a los agentes para resolver las distorsiones de mercado, en particular, información asimétrica y coordinación de agentes.
- Coordinar, focalizar y priorizar las acciones conjuntas entre el sector privado y los distintos órdenes de gobierno (SE 2013c).

Un elemento transversal en estos objetivos es, sin lugar a dudas, el conjunto de actividades de IDTI, que mantiene una relación directa con el logro de los objetivos señalados. El mismo gobierno afirma que en los países más desarrollados, la innovación explica entre dos terceras y tres cuartas partes de las tasas de crecimiento observadas para el PIB entre 1995 y 2006 (SE 2013c).

De tal modo, identificamos a los Fondos Sectoriales de CONACYT, particularmente a cuatro de ellos (Fondo para la Sustentabilidad Energética SENER-CONACYT, Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energía CFE-CONACYT, Fondo de Innovación Tecnológica SE-CONACYT y Fondo Sectorial de Innovación SE-CONACYT), así como al Programa de Estímulos a la Innovación, como las políticas que mayor injerencia pueden tener en la industria en cuestión. De hecho, dentro del Fondo para la Sustentabilidad Energética ha habido ya proyectos encaminados a impulsar al sector de las manufacturas eólicas.

El **Fondo para la Sustentabilidad Energética (FSE) SENER-CONACYT** es un fideicomiso que tiene por objeto impulsar la investigación científica y tecnológica aplicada, así como la adopción, innovación, asimilación y desarrollo tecnológico en materia de fuentes renovables de energía, eficiencia energética, uso de tecnologías limpias, y diversificación de fuentes primarias de energía (CONACYT 2013d). El FSE apoya el financiamiento de proyectos de investigación, desarrollo e innovación liderados exclusivamente por institutos de investigación y de educación superior del país, inscritos en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (SENER 2013a).

La primera convocatoria del FSE, publicada en 2009, estuvo enfocada a energías renovables y eficiencia energética y se aprobaron 131 millones de pesos para su operación. Entre los proyectos aprobados en dicha convocatoria, estuvo el denominado *Máquina Eólica Mexicana (MEM)*, al que se destinaron 47 millones de pesos y en el que participan el Instituto de Investigaciones Eléctricas y el Centro de Tecnología Avanzada, A.C. (CIATEQ). Con el propósito de aprovechar las oportunidades del mercado eólico internacional, el IIE emprendió la creación de una turbina eólica de 1.2 MW de capacidad, diseñada para operar en condiciones de vientos intensos. El objetivo específico del proyecto fue consolidar capacidades nacionales para el desarrollo tecnológico y pruebas de aerogeneradores para el análisis y solución de la problemática asociada con su operación y mantenimiento (SENER 2013a).

Para el desarrollo del aerogenerador se integro un equipo multidisciplinario en el que se aplican diversas capacidades de las gerencias del IIE, las cuales se complementan con el CIATEQ y la empresa Ruhrpumpen, mediante convenios de colaboración. El proyecto se dividió en tres etapas de 18 meses cada una: 1) diseño y especificación de componentes; 2) adquisición, fabricación de componentes y ensamble de subsistemas y; 3) ensamble, instalación y pruebas de viento libre del prototipo. Sin embargo, en abril de 2013, es decir 4 años después de que el proyecto fuera aprobado, sólo se tenía concluida la etapa uno (González

et al 2013). El lento avance de la Máquina Eólica Mexicana, muy distinto a lo previsto al inicio del proyecto, hace reflexionar sobre las carencias y/o deficiencias en México para poder manufacturar los aerogeneradores, cuya tecnología, en teoría, es sencilla. Sumando a lo anterior, existe poca información con respecto a los avances logrados por el CERTE<sup>22</sup>, lo cual genera mucha incertidumbre en el panorama. Todo ello, hace evidente la necesidad de replantear las estrategias hasta ahora aplicadas.

Por otra parte, el FSE ha convocado también para la creación de *Centros Mexicanos de Innovación en Energía (CEMIEs)* y específicamente mediante una convocatoria en 2013, en energía eólica. Para la creación del CEMIE eólico se convocó a Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación públicos y privados para que, en grupo o asociación con empresas públicas o privadas, presentaran sus propuestas, resultando electo el Instituto de Investigaciones Eléctricas como líder del consorcio, en conjunto con el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey (ITESM), el Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), el Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ), el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), el Instituto Tecnológico de La Laguna, la Universidad del Istmo y la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). El presupuesto total del proyecto es de 322 millones de pesos, de los cuales 216 millones de pesos serán aportados por el Fondo (Torreblanca 2013).

Los objetivos del CEMIE eólico son: a) fortalecer las capacidades en materia de energía eólica que permitan vencer las barreras tecnológicas existentes; b) establecer proyectos estratégicos que coadyuven en el conocimiento, dominio y aprovechamiento de la energía eólica; c) promover las condiciones tecnológicas adecuadas para el desarrollo de la industria de energía eólica mexicana y; d) formar recursos humanos especializados en energía eólica. Aunque el apoyo económico para este proyecto tiene una duración de 48 meses, se pretende que el CEMIE eólico tenga una visión estratégica que le permita su sostenibilidad a largo

---

<sup>22</sup> Descrito en la sección 2.3.4.

plazo, de hecho la convocatoria del CEMIE eólico estipuló que el plan estratégico del centro debe tener una visión como mínimo de 8 años (CONACYT 2013d).

Con la creación de los CEMIEs, éstos se colocan como el eje central en el avance industrial nacional de las energías renovables. La responsabilidad de crear vínculos entre el sector académico y el industrial, capaces de formar equipos multidisciplinarios que hagan frente a las barreras del desarrollo eólico, de fortalecer la investigación científica y tecnológica, de formar recursos humanos de alto nivel y de impulsar la industria eólica, es una labor colosal dentro del contexto mexicano con severas deficiencias estructurales. El seguimiento y la evaluación constante del desempeño del proyecto, e incluso la reorientación de sus objetivos y estrategias, serán factores claves en el logro de los resultados del centro.

El **Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energía CFE-CONACYT** es un fideicomiso creado para brindar soluciones a las principales problemáticas que afectan al sector eléctrico nacional mediante la promoción de la investigación y el desarrollo tecnológico. Las convocatorias son realizadas acorde a las demandas específicas de la CFE, que se clasifican en áreas estratégicas: optimización de activos (infraestructura de generación, transmisión y distribución); disponibilidad y uso eficiente del agua; disponibilidad, uso eficiente de combustibles y fuentes alternas y renovables de energía; desarrollo sustentable; tecnologías de información y telecomunicaciones y; capacitación especializada (CONACYT 2013c).

El **Fondo de Innovación Tecnológica SE-CONACYT** apoya proyectos de innovación tecnológica que contribuyan a mejorar la competitividad de las empresas en México. La innovación tecnológica, se entiende como el proceso que conjuga una oportunidad de mercado con una necesidad y/o una invención tecnológica, que tiene como objetivo la producción, comercialización y explotación de un nuevo producto, proceso, actividad comercial, modelo de negocio, modelo de logística o servicio al cliente. Convoca a empresas micro, pequeñas y medianas y a personas físicas con actividad empresarial, a presentar propuestas

de innovación tecnológica en diversas áreas, que entre otras, incluyen sistemas de manufactura avanzada, así como tecnologías limpias y renovables. Los apoyos máximos llegan hasta 70% del costo total del proyecto (CONACYT 2013a).

El **Fondo Sectorial de Innovación SE-CONACYT (FINNOVA)** pretende la realización de investigaciones científicas, desarrollo tecnológico e innovación; el registro nacional e internacional de propiedad intelectual; formación de recursos humanos especializados; becas; creación y/o fortalecimiento de grupos o cuerpos académicos o profesionales de investigación, desarrollo tecnológico e innovación; divulgación científica, tecnología e innovación. Así como la infraestructura que requiera el sector del que se trate; la conformación y desarrollo de redes y/o alianzas tecnológicas y/o de innovación y; las actividades de vinculación entre generadores de ciencia, tecnología e innovación y los sectores productivos y de servicios. Y, finalmente, el establecimiento de sistemas de gestión de la tecnología en las empresas; la creación de fondos semilla y de capital de riesgo para la formación de empresas basadas en el conocimiento; la creación y consolidación de parques científicos y tecnológicos y; la conformación de instrumentos de capital de riesgo para la innovación. Las convocatorias de este fondo han estado encaminadas a fomentar: transferencia tecnológica, biotecnología, innovación y mitigación de gases de efecto invernadero (CONACYT 2013b).

El **Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación** apoya a las empresas para que inviertan en proyectos de investigación, desarrollo de tecnología e innovación, dirigidos al desarrollo de nuevos productos, procesos o servicios, a través del otorgamiento de estímulos complementarios. El Programa incluye 3 modalidades: INNOVAPYME (Innovación tecnológica para las micro, pequeñas y medianas empresas), INNOVATEC (Innovación tecnológica para las grandes empresas) y PROINNOVA (Proyectos en red orientados a la innovación).

III. LA ENERGÍA EÓLICA CONECTADA A LA INDUSTRIA MANUFACTURERA Y  
AL CRECIMIENTO ECONÓMICO DEL PAÍS

**Cuadro 3.3**  
**Montos de apoyo del Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación**

Modalidad	Tamaño de empresa	Porcentaje de apoyo respecto al gasto elegible del proyecto en el ejercicio fiscal 2014			Tope máximo de apoyo por empresa (pesos)
		Proyecto individual	Proyecto en vinculación con IES/CI		
		% del gasto de la empresa	% del gasto de la empresa	% de gastos de las IES/CI	
INNOVAPYME	MIPYMES	30	35	75	21 Millones
INNOVATEC	Empresas grandes	25	30	70	36 Millones
PROINNOVA	MIPYMES	No aplica	50	75	27 Millones
	Empresas grandes		35		

Fuente: CONACYT (2013e).

En el Cuadro 3.3, se muestra el monto de los apoyos, el cual varía de acuerdo a la modalidad de la que trate y a la existencia de vinculación con Instituciones de Educación Superior (IES) y/o Centros de Investigación (CI) (CONACYT 2013e).

### 3.3.2.2 Política comercial mexicana

Hoy en día, las políticas industriales son interdependientes de las políticas comerciales, pues existe una importancia significativa y creciente de los flujos comerciales de productos industriales. De tal forma, las políticas comerciales tienen capacidad de incidir sobre el desarrollo de las industrias.

En torno a la manufactura, se estableció el **Programa IMMEX, Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicio de Exportación**. Este instrumento permitía importar temporalmente los bienes necesarios para la operación de manufactura o maquila, sin cubrir el pago del impuesto general de importación, del impuesto al valor agregado (IVA) y, en su caso, de las cuotas compensatorias. Entendido como operación de manufactura o maquila el proceso industrial o de servicio destinado a la elaboración, transformación o reparación de mercancías de procedencia extranjera importadas temporalmente para su exportación o a la prestación de servicios de exportación. Entre otros, un requisito que resaltaba para la obtención del programa, era el compromiso de realizar anualmente ventas al exterior por un valor superior a 500 mil dólares, o su equivalente en moneda

nacional, o bien, facturar exportaciones, cuando menos por el 10% de su facturación total. Las empresas dentro del programa IMMEX, representan el 85% de las exportaciones manufactureras de México (SE 2013c).

Con la reforma fiscal y hacendaria aprobada en diciembre de 2013, la exención del pago del IVA a las importaciones temporales de IMMEX quedo suspendida y a partir de enero de 2014, estas empresas pagan el 16% de IVA por la importación de dichas mercancías. Los argumentos del gobierno federal para la eliminación de este beneficio fueron que las importaciones envueltas en un régimen tan diverso, hacían difícil la operación de los impuestos aduaneros, encarecían el costo de administrar el IVA, y además abrían espacios para prácticas de evasión y elusión fiscal. Sumado a lo anterior, se argumentó que la exención del IVA a las importaciones generaba distorsiones en el mercado que promovían la preferencia por insumos extranjeros en vez de promover la integración de contenido nacional (Ley del Impuesto al Valor Agregado; Red Política 2014).

Otro instrumento es el ***Programa de Devolución de Impuestos de Importación a los Exportadores (DRAWBACK)***, cuyo objetivo es devolver a los exportadores el valor del impuesto general de importación pagado por bienes o insumos importados que se incorporan a mercancías de exportación o por las mercancías que se retornan en el mismo estado o por mercancías para su reparación o alteración. La devolución del impuesto, tomará en cuenta el monto del impuesto de importación pagado en moneda extranjera, aplicando el tipo de cambio vigente en la fecha que se autorice la devolución SE (2000).

Los ***Programas de Promoción Sectorial (PROSEC)***, son un instrumento dirigido a personas morales productoras de determinadas mercancías, mediante los cuales se les permite importar con arancel *ad-valorem* preferencial, diversos bienes para ser utilizados en la elaboración de productos específicos, independientemente de que las mercancías a producir sean destinadas a la exportación o al mercado nacional. Los bienes a importar y las mercancías a producir están agrupados por sectores; para la producción de una mercancía no

podrá importarse un bien contenido en un sector diferente. La proveeduría de insumos y maquinaria es crítica para ciertas industrias y éstas, requieren contar con condiciones arancelarias competitivas para abastecerse (SE 2013c).

Además de estos instrumentos, México ha firmado una buena cantidad de tratados y acuerdos comerciales en aras de facilitar el comercio internacional. El país cuenta con 12 *Tratados de Libre Comercio* con 44 países, 28 *Acuerdos para la Promoción y Protección Recíproca de las Inversiones (APPRIs)* y 9 *Acuerdos de Comercio (Acuerdos de Complementación Económica y Acuerdos de Alcance Parcial)* en el marco de la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI) (SE 2013e). Las disposiciones de estos tratados y acuerdos comerciales, no siempre parecen compatibles con los incentivos nacionales de comercio implementados. En determinadas circunstancias y en cierto tipo de bienes, podrían incluso restringirse los incentivos considerados por los programas o imponerse requisitos especiales para la obtención de éstos.

### **3.4 ¿Qué hace falta?**

Una vez descritos los avances en la fabricación de manufacturas eólicas en el país y las políticas en torno a ésta, hemos identificado algunos aspectos que limitan su desarrollo y con base en ello elaborado algunas propuestas para enfrentarlos.

#### **3.4.1 Factores limitantes**

En primer término, pese a la supuesta importancia que el gobierno mexicano concede a las actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, el presupuesto destinado a las actividades de I+D es bajo. En México, el porcentaje del PIB dedicado a estas actividades no ha variado sustancialmente, manteniéndose en niveles ínfimos, sin poder alcanzar siquiera 0.5% (su mejor marca fue de 0.48% en 2010). Esta situación contrasta con los gastos de países líderes de la manufactura eólica, como Dinamarca, Estados Unidos y China, quienes en 2011 gastaron en investigación y desarrollo, 3.09%, 2.77% y 1.84%, respectivamente, como proporción del PIB (WB 2014).

III. LA ENERGÍA EÓLICA CONECTADA A LA INDUSTRIA MANUFACTURERA Y  
AL CRECIMIENTO ECONÓMICO DEL PAÍS

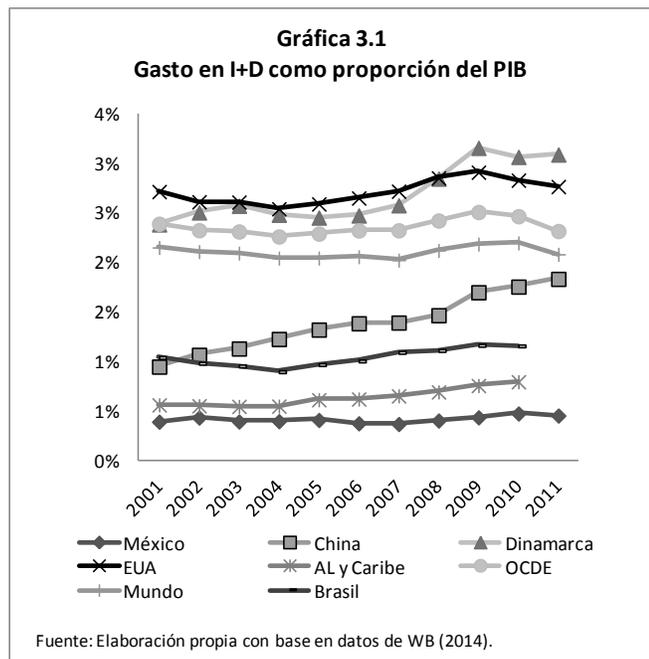
En el Cuadro 3.4 y en la Gráfica 3.1 podemos observar el comportamiento de México con respecto a estos países y además con respecto a algunos bloques agregados. En promedio, México gastó en actividades de investigación y desarrollo 0.42% como proporción del PIB de 2001 a 2011, mientras que Dinamarca y Estados Unidos destinaron 2.7% en esos mismos años. Probablemente se piense en este momento que realizar comparaciones entre países tan disímiles obviamente pone en desventaja a un país como México, sin embargo, se realizó la comparación del indicador con Brasil (1.04%), con el promedio mundial (2.1%) y con el promedio de América Latina y el Caribe (0.64%), y México sigue presentando un desempeño inferior que éstos. Las tendencias de los gastos en I+D en términos relativos al PIB durante estos años, parecen casi invariables para México, decrecientes a partir de 2009 en varias de las líneas mostradas en la gráfica y claramente crecientes las de China.

**Cuadro 3.4**  
**Gasto en I+D como proporción del PIB**

País	Promedio 2001-2011
México	0.42%
Brasil*	1.04%
China	1.39%
Dinamarca	2.69%
EUA	2.71%
AL y Caribe*	0.64%
OCDE	2.36%
Mundo	2.10%

\*Promedio 2001-2010

Fuente: Elaboración propia con base en datos de WB (2014).



El bajo presupuesto en investigación y desarrollo por parte del Estado, parece estar relacionado con las presiones sobre la asignación presupuestaria en otros rubros y una falta de planeación que visualice los efectos positivos de largo plazo que traería consigo el incremento de las actividades de I+D.

Al mismo tiempo, el gasto en I+D que realiza el sector productivo en México, además de ser bajo, es casi homogéneo entre sectores de distinta intensidad tecnológica, mientras que los países con mayor desarrollo tecnológico destinan una fuerte proporción del valor agregado a las actividades con mayor intensidad tecnológica, lo cual hace mucho más amplia la brecha en la intensidad del gasto en I+D en las industrias de alta tecnología entre México y otros países con mayores avances tecnológicos (Capdevielle 2008, pp. 269-270).

Esta situación ha derivado en un modelo de crecimiento que no se sustenta en ventajas dinámicas, como las que aporta la tecnología, sino más bien en bajos salarios de personal poco cualificado, en la cercanía con Estados Unidos y en la explotación de recursos naturales abundantes. Tales características han hecho al crecimiento económico frágil, dependiente, poco sostenible y socialmente indeseable.

En el contexto de una economía globalizada y por lo tanto un comercio internacional creciente, México se ha convertido en un productor de poco valor agregado. La industria manufacturera nacional, con una fuerte presencia a nivel mundial, basa su producción en la importación de la mayor parte de sus insumos, para posteriormente vender la mayor parte de su producción al mercado internacional, creando una fuerte dependencia de la importación de productos, sobre todo de los más sofisticados, y deprimiendo la posibilidad de crear eslabonamientos locales. En este proceso son prácticamente nulos los desarrollos de tecnología e innovación local, aún cuando se trate de manufactura de productos de alta tecnología, ésta no fue creada en el país, sino que simplemente absorbió los procesos intensivos en mano de obra. No hay capacidades tecnológicas endógenas y si muchas limitaciones estructurales a su desarrollo. Así, hay una creciente participación en el mercado internacional y un producto interno bruto estancado.

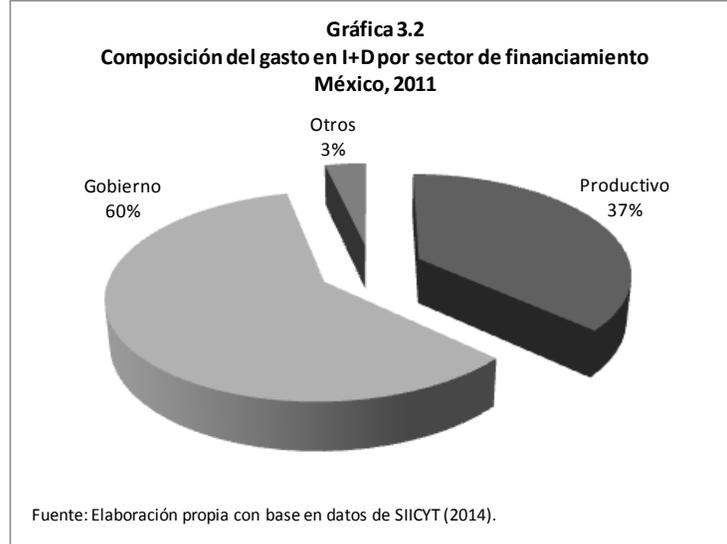
La gran apertura al mercado global contrasta con escasos productos que ofrecer, con apenas algunas firmas capaces de competir a nivel internacional y con un

panorama muy oscuro para que las que las pequeñas y medianas empresas puedan incursionar. Este escenario ha favorecido la adquisición de equipos eólicos extranjeros para los grandes proyectos de generación. En materia de la industria eoloeléctrica, el bajo nivel de desarrollo del aparato productivo mexicano y de sus capacidades tecnológicas y de innovación, no ha permitido sacar mayor provecho de los instrumentos, tratados y acuerdos comerciales, que teóricamente proporcionan ventajas a los países firmantes. Tan solo en el campo de las manufacturas eléctricas, la mitad de los productos que utiliza el sector, pueden ser comprados en el extranjero sin pagar aranceles, compitiendo así con los productos nacionales, pues muchas veces éstos no son capaces de igualar la oferta internacional, lo cual incluso puede derivar en prácticas desleales (Bustos 2012).

Otro factor importante, del cual ya hablábamos en la sección teórica de este capítulo, es que las actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (IDTI), muchas veces no se llevan a cabo por resultar comercialmente inviables para quien las emprende, lo cual se debe esencialmente a fallas de mercado que hacen que los competidores se beneficien de los resultados de los esfuerzos de IDTI, sin que haya pago de por medio (externalidades positivas). Los problemas derivados de los beneficios privados, pueden desincentivar este tipo de gastos, pues a pesar de la existencia de mecanismos como patentes y derechos de autor, muchas veces las empresas continúan expuestas a que los competidores imiten su descubrimiento o innovación sin pago de por medio.

En 2011, el gasto en investigación y desarrollo efectuado en México fue de 61.8 miles de millones de pesos, de los cuales sólo el 37% fue realizado por el sector productivo, mientras que el gobierno y otros actores (educación superior, fondos del exterior y sector privado no lucrativo) financiaron el 60% y el 3%, respectivamente (ver Gráfica 3.2). Así pues, el sector productivo que resulta beneficiario directo de los frutos de las actividades de investigación y desarrollo tecnológico, sobre todo por sus contribuciones a la innovación, se muestra poco participativo en el gasto de dichas tareas. Más allá, la participación de las

empresas residentes en México es claramente marginal y subordinada, muestra de ello es que más del 90% de las solicitudes de patentes que se realizan en México, son de empresas no residentes. En Japón y en Europa, las patentes para residentes son el 83%, en China 79%, en EUA 50% y en Brasil 17%, por mostrar solo algunos ejemplos (SIICYT 2014).



Por otra parte, las naciones con relativa industrialización reciente son tecnológicamente muy dependientes del mundo desarrollado. Gran parte del desarrollo industrializador de países como México, ocurre como un fenómeno de naturaleza imitativa de los países altamente industrializados. La innovación tecnológica radica básicamente en la adaptación y asimilación de tecnologías. Con frecuencia esto implica transferencia de diseño de productos y/o procesos productivos desde el exterior, casi a todo lo largo del espectro industrial y que al ocurrir en mercados imperfectos, acaba por configurar una situación de dependencia tecnológico-social, que difiere en forma muy significativa de la interdependencia observable entre países avanzados (Katz 1976). De tal suerte, hay efectos desiguales de la innovación sobre el desarrollo y bienestar de las naciones.

Finalmente, cabe mencionar que los proyectos de investigación, desarrollo tecnológico e innovación enfrentan dificultades para conseguir financiamiento, ya que constituyen activos intangibles, asociados con altos niveles de riesgo e incertidumbre. Estos inconvenientes pueden hacer a los financiamientos caros.

### **3.4.2 Propuestas para incentivar a la industria de manufacturas eólicas en México**

El precario nivel de desarrollo de la industria de manufacturas eólicas en México, un país manufacturero, convierte el fomento de ésta en una oportunidad, sobre todo de frente al pronóstico de crecimiento de la demanda nacional e internacional de la misma. Por ello, en esta última sección se elabora un conjunto de propuestas para lograr el crecimiento de la actividad.

Las políticas públicas serán pieza clave en el éxito de la industria, así lo muestra incluso la experiencia internacional, en la que países como China, Corea e India, apoyaron de manera decidida la manufactura eoloeléctrica y hoy en día son referentes en el mercado mundial.

#### *Fondo Sectorial para la Industria de las Manufacturas Eólicas (FSIME)*

Dadas la pertinencia de enfocar esfuerzos a sectores específicos y la coyuntura que están adquiriendo los fondos sectoriales en México, se sugiere la creación de un “*Fondo Sectorial para la Industria de las Manufacturas Eólicas (FSIME)*”. Éste promoverá las labores de IDTI y de aprendizaje para esta industria, así como la creación y la consolidación de empresas dedicadas a la fabricación de componentes y/o equipos eólicos.

Para su creación, el Estado no redistribuirá la proporción presupuestal existente de I+D castigando a algunos otros fondos o programas dentro de este rubro, sino que deberá asignar una mayor proporción de recursos presupuestarios para dichas actividades. El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 plantea como uno de sus objetivos “*hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación pilares para el progreso económico y social sostenible*”, para lo que plantea como estrategia “*contribuir a que la inversión nacional en investigación científica y desarrollo tecnológico crezca anualmente y alcancé un nivel de 1% del PIB*” (Gobierno de la República 2014). La consolidación del Fondo, representaría una

de las acciones estratégicas para ir avanzando en el objetivo, pues crecería el gasto público destinado a las actividades de investigación y desarrollo.

El FSIME trabajara de manera directa y conjunta con el CEMIE eólico, el CERTE y el proyecto MEM, pues evidentemente sus objetivos son coincidentes. La idea de la creación del FSIME surge por la necesidad de impulsar de manera contundente el sector manufacturero eólico, lo cual no se ha logrado con los proyectos que actualmente están operando en busca de su desarrollo, probablemente por ser proyectos con presupuestos de menor cuantía que la que podría proporcionar un fondo sectorial completo o por la falta de seguimiento de las instituciones correspondientes. De tal forma, la creación del FSIME será un complemento financiero para los proyectos actuales de impulso a la manufactura eólica, principalmente para el CEMIE eólico, que apenas hace poco tiempo fue aprobado y tiene la misión de desarrollar una cartera de proyectos para la industria de maquinaria y equipo eólico. El FSIME tendrá la facultad de dar seguimiento a las actividades del CEMIE eólico, del CERTE y del proyecto MEM de manera permanente, con el objetivo de coordinar acciones cuando los resultados no sean los esperados; así mismo estará obligado a participar de manera activa en las sesiones de revisión y planeación semestrales del CEMIE eólico con SENER y CONACYT que ya se tenían estipuladas en los términos de referencia de este Centro.

Con la creación del Fondo, el financiamiento de los proyectos de manufactura eólica será efectuado de manera conjunta CEMIE y FSIME. En virtud de que el CEMIE eólico se encuentra ya conformado por un grupo de expertos en la materia de energía y manufacturas eólicas, éste será el responsable directo de la selección de los proyectos elegibles; mientras que el financiamiento será otorgado un 40% por el CEMIE y un 60% por el FSIME, por lo que los proyectos elegibles serán mucho más numerosos de los que podría cubrir el CEMIE.

Mediante estos recursos, el sector público financiara en primera instancia las actividades de IDTI de esta industria, pero estará obligado a buscar estrategias

que hagan creciente la participación del financiamiento privado de IDTI en el sector, lo cual podrá lograrse mediante el condicionamiento de los apoyos ofrecidos. El objetivo de largo plazo será adherir en los agentes tanto públicos como privados, una actitud emprendedora en constante búsqueda de innovaciones, motivados por los beneficios palpables obtenidos como fruto de las innovaciones previas. Una vez concluidos los proyectos y cuando sea posible medir en términos monetarios los rendimientos de éstos, ya sea por los beneficios de registros de propiedad o patentes, así como por el crecimiento de la producción de manufacturas eólicas o ampliación de tipos de manufacturas producidas, las empresas privadas quedarán obligadas a destinar como mínimo el 20% de estas utilidades a actividades de IDTI de la industria de manufacturas eólicas por un lapso no menor de 3 años (el porcentaje y el periodo podrán ser mayores si la empresa lo determina, pero en ningún caso menores a los señalados).

#### Cuotas de contenido local

De manera adicional a la operación del Fondo, el programa de desarrollo tecnológico deberá conjugarse con la implementación de cuotas de contenido local.

En la Ley para el Aprovechamiento de la Energías Renovables y el Financiamiento para la Transición Energética, no se estableció que los aerogeneradores que se instalaran en México contaran con al menos un porcentaje importante de integración nacional o que los aerogeneradores se fabricaran en el país. Aunque existen algunos esbozos en diversas leyes sobre la integración de contenido nacional en la producción eléctrica con renovables<sup>23</sup>, aún no existen mecanismos

---

<sup>23</sup> En la reciente reforma energética promulgada en diciembre de 2013, el séptimo artículo transitorio apunta la promoción de cadenas productivas nacionales y locales, aunque debido a que aún no están elaboradas las leyes secundarias, todavía no es posible saber cuáles serán las bases y los porcentajes mínimos de contenido nacional en los proyectos eléctricos. Por otra parte, en legislaciones anteriores había ya también bosquejos sobre ello. De acuerdo con la LAERFTE, la SENER en coordinación con la SE, deben definir las políticas y medidas para fomentar una mayor integración nacional de equipos y componentes para el aprovechamiento de las energías renovables y su transformación eficiente. Por otra parte, la LSPEE, menciona que la CFE debe promover el desarrollo y la fabricación nacional de equipos y materiales

claros que lo promuevan y mucho menos hay avances en la producción real. Aquí no hay limitaciones, los desarrolladores eólicos tienen acceso a incentivos sin que se les pida fabricar en México, lo que ha derivado en el estancamiento de la manufactura local.

Con la creación del Fondo propuesto, la creciente oferta de manufacturas eólicas fabricadas en México, tendrá que ser impulsada, al menos en su etapa inicial, por políticas públicas que orienten la demanda nacional hacia dicha oferta. Por lo que se sugiere que los incentivos de tarifa preferente por servicio de transmisión y depreciación acelerada<sup>24</sup>, vigentes en México, así como las posibilidades de financiamiento auspiciadas por el Estado, solo sean aplicables a los proyectos eólicos que incluyan un mínimo de contenido local de 40% para los años 2016-2021, y un 70% para los siguientes 5 años. Transcurridos estos 10 años, podrá evaluarse la pertinencia de conservar las cuotas de contenido local o dejar a la industria de las manufacturas eólicas a los avatares del mercado, en virtud de que esta industria mexicana haya logrado posicionarse tanto a nivel nacional como en el plano internacional.

Con el fin de evitar que las cuotas de contenido local deriven en proteccionismo desmedido y en detrimento de la competitividad, se propone crear un mecanismo de certificación de componentes y/o equipos eólicos, basado en estándares internacionales. Solo las manufacturas que logren ser certificadas, podrán participar en el mercado.

#### *Impuestos a la importación para manufacturas eólicas que ya se fabriquen en México*

La política de Arancel Cero, descrita en la sección 2.3.8, nulifica el cobro de impuesto general de importación a componentes y/ equipos eólicos. El programa

---

utilizables en el servicio público de energía eléctrica; así mismo debe abastecerse, preferentemente, con productos nacionales manufacturados por instituciones descentralizadas, empresas de participación estatal o empresas privadas.

<sup>24</sup> Para más información de los incentivos ver sección 2.3.8.

DRAWBACK, descrito en el apartado de política comercial de la sección 3.3.2, devuelve el impuesto general de importación en caso de que los bienes o insumos importados se incorporen a mercancías de exportación. Ambos casos, aplicables a las manufacturas eólicas, tendrán que ser reorientados.

En el caso de los componentes o equipos eólicos que ya se manufacturen en el país, no se eximirá del pago del impuesto general de importación y tampoco será devuelto dicho impuesto aún cuando estas manufacturas sean incorporadas a productos de exportación.

Cuando exista la producción nacional de un determinado producto manufacturero eólico que se utilice en el proceso de manufactura de otro, el fabricante del segundo podrá elegir entre importar el insumo (pagando el impuesto general de importación correspondiente) o comprarlo al fabricante nacional, independientemente de si su producto final es destinado a la exportación o a la venta nacional.

### **3.5 Conclusión**

En presencia de una auténtica planeación del sector eólico, existe una relación directa entre uso de energía eólica, industria eololéctrica y crecimiento económico nacional. Hay evidencias internacionales que empíricamente así lo sugieren. La derrama económica por las actividades de la industria eololéctrica y la generación de empleos, tienen la capacidad de incentivar el crecimiento de las economías, en especial, las actividades de la industria de manufacturas eólicas. Teóricamente, esto se explica por la acumulación de conocimientos que deriva en cambio tecnológico, los cuales son generados por las actividades de investigación, desarrollo tecnológico e innovación (IDTI) de entidades particulares, que producen beneficios para dichas entidades, pero en mayor medida para la sociedad, generando así, externalidades positivas que son la fuente del crecimiento económico. Los determinantes del cambio tecnológico son, investigación y desarrollo (I+D), innovación, relación entre I+D e innovación y transferencia

tecnológica. Transversalmente, la política industrial influye en el desempeño de estos componentes y en el cambio tecnológico en general.

En el caso de México, la relación entre energía eólica, industria manufacturera y crecimiento económico, es aún poco perceptible. En los últimos años el aprovechamiento de la energía eólica ha incrementado, pero su industria es incipiente y por lo tanto su contribución al crecimiento económico, prácticamente nula. La industria de manufactura de equipos y/o componentes eólicos, representa una buena alternativa para que México se consolide como participante activo de ésta. Aunque ya se fabrican algunos componentes eólicos en el territorio nacional y ha habido algunos proyectos que han buscado incentivar la actividad, son todavía muy pocas las empresas involucradas en ello y su participación por lo tanto es muy pequeña.

Actualmente existen algunos lineamientos de políticas industrial y comercial que llegan a influir en el sector de las manufacturas eólicas, sin embargo, la evidente necesidad de una política más activa en torno a este tema, condujo a la realización de una propuesta que busca incentivar la industria nacional de manufacturas eólicas, la cual en términos resumidos, consta de: 1) creación de un *Fondo Sectorial para la Industria de las Manufacturas Eólicas*, que promueva las labores de IDTI, así como la creación y la consolidación de empresas dedicadas a la fabricación de componentes y/o equipos eólicos; 2) implementar cuotas de contenido local para todos aquellos desarrolladores eólicos que se beneficien de los incentivos de tarifas preferentes por servicio de transmisión, depreciación acelerada y apoyos en financiamientos del Estado; la integración de contenido local de 2016 a 2021 será de 40% como mínimo y de 70% para los siguientes cinco años y; 3) aplicar el impuesto general de importación para aquellas manufacturas eólicas que ya se estén fabricando en México, independientemente de si son destinadas al consumo nacional o a la exportación.

## CONCLUSIONES GENERALES

La producción de electricidad en México, donde actualmente participan en mayor medida las fuentes energéticas fósiles, enfrenta diversos retos que deberá ir superando para lograr una operación más eficiente. Más del 80% de la generación bruta destinada al servicio público en 2012, se realizó con combustibles fósiles, cuya preponderancia continua ha generado básicamente dos inconvenientes. Por un lado, se prevé la escasez de estos combustibles en un mediano plazo; las reservas mexicanas de petróleo y de gas han disminuido en los últimos años. Por otra parte, se atribuye al uso de los fósiles gran parte de la responsabilidad en el fenómeno del cambio climático global; las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la combustión del petróleo, el gas y el carbón, para producir electricidad, entre otras actividades, representan un gravísimo problema, que urge mitigar.

Para enfrentar estos inconvenientes, la matriz energética mexicana ha comenzado a mutar. El cambio más significativo en la producción de electricidad es el crecimiento de las plantas de ciclo combinado, que utilizan gas para generar electricidad, ya que este combustible presume ser generador de menores emisiones GEI y además a costos de generación bastante aceptables. Por otra parte, aunque en una proporción mínima, ha comenzado a figurar la generación eléctrica con fuentes renovables.

El uso de energías alternativas o renovables, tanto en México, como en mundo, obedece al interés generalizado de disminuir los impactos ambientales y diversificar la matriz energética como una medida para incrementar la seguridad. La energía eólica, es una de las renovables que mayor dinamismo ha mostrado en los últimos años, pues a pesar de tener ciertos impactos ambientales, se reconoce que tiene potenciales efectos en la mitigación del cambio climático. Además, se estima un potencial de generación elevado por la abundancia del viento. Aunado a lo anterior, los costos nivelados de la eólica, se ubican en una posición muy

competitiva frente al resto de las renovables y cada vez más competitiva frente a las tecnologías convencionales.

El aprovechamiento de la energía eólica en México, es favorecido por el excepcional potencial del país para generar electricidad con base en viento. Actualmente, existe un marco legal ya conformado, que rige esta actividad, destacando las siguientes acciones: reformas realizadas en 1992 que bajo ciertas modalidades, permitieron la entrada del capital privado a la generación de electricidad; esquemas de financiamiento internos y externos para la generación con base en renovables; creación de una ley específica que regula el aprovechamiento de las renovables; facilidades para lograr la interconexión e; incentivos a la inversión.

Supeditado a este marco legal y al contexto actual, el uso de la energía eólica en México ha ido en aumento, sobre todo en los últimos años. Este crecimiento, se ha dado fundamentalmente en la generación de energía eléctrica que lleva a cabo el capital privado y con la participación de empresas transnacionales como desarrolladores de ésta. Al primer trimestre de 2013, la capacidad instalada eólica total ascendió a 1,380 MW.

A pesar del crecimiento de la eoloeléctrica, proporcionalmente su participación sigue siendo muy baja, debido entre otras cosas a que, la generación eléctrica sigue respondiendo a incentivos de mercado, por lo que los generadores buscan los costos más bajos y la eólica aún es más cara que algunos fósiles, como el gas natural. Por otra parte, los argumentos de la posible escasez de los recursos fósiles y los daños ambientales por el uso de éstos, no han logrado penetrar lo suficiente en la formación de la matriz energética y/o en las políticas públicas que la orientan. Además la infraestructura eléctrica persistente es en mayor medida de tecnologías fósiles, lo que hace difícil y costosa la transformación de la matriz energética, pues las inversiones no pueden retirarse repentinamente y no sin antes haber amortizado el capital invertido.

Para enfrentar estos obstáculos, se elaboró una propuesta para incentivar el aprovechamiento de la energía eólica. El análisis del cual emanó esta propuesta, partió de la internalización de las externalidades derivadas de la generación de emisiones de CO<sub>2</sub> en la producción eléctrica. Posteriormente se crearon dos escenarios de optimización, uno para 2012 y otro para 2026, cuyo objetivo en ambos casos fue minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> de la producción de electricidad, tomando en cuenta los costos nivelados que ya incluyen el valor monetario de las externalidades. Los resultados más relevantes en este análisis fueron una producción eléctrica menos intensiva en carbono, pasando de 534 tCO<sub>2</sub>/GWh en 2012 a 466 tCO<sub>2</sub>/GWh en el Escenario 1 y a 345 tCO<sub>2</sub>/GWh en el Escenario 2. Además la tecnología eoloeléctrica obtuvo los mayores costos de oportunidad, es decir, el incremento de la generación con eólica tiene mayores impactos en la minimización de emisiones de carbono que el incremento de cualquier otra de las tecnologías estudiadas. El seguimiento de esta propuesta, tendrá efectos directos sobre la minimización de las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la generación de electricidad y sobre la transformación de la matriz energética, inclinándolo a ésta al mayor aprovechamiento de la energía eólica, que en el Escenario 2 llega a casi 9% de la generación eléctrica total.

Concluida la conveniencia de la internalización de las externalidades, se propone llevarla a cabo mediante impuestos a la generación de emisiones de CO<sub>2</sub>, derivadas de la producción de electricidad. Los impuestos representan la mejor alternativa ante una externalidad negativa inagotable. El monto de la recaudación emanado de este impuesto, deberá ser utilizado para la instalación de mayor capacidad de generación eólica.

El creciente uso de la energía eólica, conlleva a una creciente demanda de insumos necesarios para la instalación de las plantas eólicas, lo cual trasciende por la importancia económica que esta actividad industrial puede generar. A nivel internacional hay evidencias que muestran una relación positiva entre uso de energía eólica, desarrollo de la industria eoloeléctrica (con mayor enfoque en industria manufacturera) y crecimiento económico. Teóricamente esta relación se

explica por las externalidades positivas que genera la acumulación de conocimientos, la cual se traduce en cambio tecnológico. Los determinantes del cambio tecnológico son las actividades de I+D, la innovación, la relación entre I+D e innovación y la transferencia tecnológica. La política industrial juega un papel preponderante para detonar el desarrollo de algún sector particular.

Desafortunadamente para el caso de México, pese a ser un país manufacturero, el desarrollo de industria de las manufacturas eólicas es incipiente. El país ha implementado algunas políticas comerciales e industriales que inciden o pueden incidir en el desarrollo de esta industria, incluso algunos proyectos que actualmente ya están operando (CERTE, MEM y CEMIE eólico) están enfocados a las manufacturas eólicas. Al día de hoy, los resultados se ponen en duda, pues la fabricación de manufacturas eólicas en el país es muy pobre todavía, de tal suerte que la demanda de maquinaria y equipo para los proyectos eólicos que aquí se instalan es cubierta mediante importaciones.

Para enfrentar estas deficiencias e impulsar el desarrollo de la industria manufacturera eoloeléctrica, se propone llevar a cabo un conjunto de acciones estratégicas: 1) crear el *Fondo Sectorial para la Industria de las Manufacturas Eólicas* que impulse las actividades de IDTI en torno a esta industria y fomente la incursión o consolidación de las empresas en la fabricación de componentes eólicos; 2) imponer cuotas de contenido local para los desarrolladores eólicos que se beneficien de los incentivos de tarifa preferente por servicio de transmisión, depreciación acelerada y apoyos en financiamientos auspiciados por el Estado y; 3) aplicar el impuesto general de importación para aquellas manufacturas eólicas que ya se estén fabricando en México.

El seguimiento de las políticas propuestas en los capítulos II y III, dará lugar a una reorientación de la manera de generar electricidad y de los beneficios económicos derivados de la misma en México.

## ANEXO 1

El Escenario 1 quedó planteado de la siguiente manera:

### *Objetivo*

Minimizar el valor de Z, que representa el total de emisiones de bióxido de carbono (medidas en toneladas de CO<sub>2</sub>) generadas por la producción de electricidad para el servicio público en 2012, mediante las tecnologías hidroeléctrica, termoeléctrica convencional, ciclo combinado, carboeléctrica, nucleoeeléctrica, geotérmica, eólica y solar fotovoltaica.

Z será la sumatoria de los productos de las emisiones de bióxido de carbono por cada gigawatt-hora generado (medidas en tCO<sub>2</sub>/GWh) de cada tecnología multiplicadas por la cantidad generación eléctrica óptima (medida en GWh) de cada tecnología.

En el Cuadro 2.3, presentado en el capítulo dos de esta tesis, tenemos los valores de las emisiones de CO<sub>2</sub> por GWh por tipo de tecnología, con lo cual el objetivo expresado como un problema de optimización queda así:

Min

$$Z = 15X_1 + 822.4X_2 + 524.44X_3 + 1082.98X_4 + 0X_5 + 135.07X_6 + 0X_7 + 0X_8$$

Donde:

$X_1 =$  Energía eléctrica bruta generada por hidroeléctricas medida en GWh

$X_2 =$  Energía eléctrica bruta generada por termoeléctricas medida en GWh

$X_3 =$  Energía eléctrica bruta generada por ciclo combinado medida en GWh

$X_4 =$  Energía eléctrica bruta generada por carboeléctricas medida en GWh

$X_5 =$  Energía eléctrica bruta generada por nucleoeeléctricas medida en GWh

$X_6 =$  Energía eléctrica bruta generada por geotermoeléctricas medida en GWh

$X_7 =$  Energía eléctrica bruta generada por eoloeléctricas medida en GWh

$X_8$  = Energía eléctrica bruta generada por solar fotovoltaica medida en GWh

Sujeto a

La minimización de las emisiones de CO<sub>2</sub> está sujeta a tres restricciones:

- Generación anual máxima posible por tecnología (medida en GWh). Cada una de las tecnologías solo puede generar una determinada cantidad de gigawatts-hora como límite máximo, que está dado por el producto de la capacidad instalada multiplicado por el factor de planta promedio y por el número de horas que contiene un año. En el Cuadro A1.1 observamos el cálculo de la generación máxima posible para cada tecnología en 2012.

**Cuadro A1.1**  
Generación máxima posible por tecnología  
Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012

Tecnología	Capacidad de generación 2012 (MW)	Factor de planta promedio	Horas al año	Generación máxima posible (GWh)
Hidroeléctrica	11,497.60	0.42	8,760.00	42,301.98
Termoeléctrica Conv.	11,698.60	0.68	8,760.00	69,686.22
Ciclo Combinado	18,029.28	0.80	8,760.00	126,349.22
Carboeléctrica	2,600.00	0.80	8,760.00	18,220.80
Núcleo eléctrica	1,610.00	0.90	8,760.00	12,693.24
Geotermoeléctrica	811.60	0.85	8,760.00	6,043.17
Eoloeléctrica	597.60	0.38	8,760.00	1,963.12
Fotovoltaica	1.00	0.25	8,760.00	2.19
<i>Total</i>	<i>46,845.69</i>	-	-	<i>277,259.94</i>

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CFE (2012b) y SIE (2013b).

- Generación mínima necesaria total (medida en GWh). La producción eléctrica en conjunto debe tener la capacidad de abastecer una gran demanda, por ello se condiciona a que este escenario genere como mínimo 236,780 GWh, que fue la producción eléctrica total para servicio público en 2012 generada por las tecnologías en cuestión. En el

**Cuadro A1.2**  
Generación Bruta de Electricidad  
Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012

Tipo de planta	Generación Bruta (GWh)
Hidroeléctrica	31,248.47
Termoeléctrica Conv.	53,917.76
Ciclo Combinado	117,556.89
Carboeléctrica	17,724.10
Núcleo eléctrica	8,769.60
Geotermoeléctrica	5,816.64
Eoloeléctrica	1,744.14
Fotovoltaica	2.08
<i>Total</i>	<i>236,779.68</i>

Fuente: Elaboración propia con base en datos del SIE

Cuadro A1.2 observamos la generación bruta total y por tecnología observadas en 2012.

- Costos totales de generación (medidos en miles de dólares). Ya que se busca diversificar la matriz energética pero sin que esto conlleve a un elevado encarecimiento de la electricidad, el costo total de generación en este escenario deberá ser menor o igual al costo total de la producción eléctrica para servicio público observado en 2012 por las *tecnologías seleccionadas*, el cual ascendió a 20,262,362.81 miles de dólares. En el Cuadro A1.3 se muestran los costos de generación totales observados en 2012. Cabe destacar que debido a que en este escenario se utilizará el costo incluyendo externalidades, los coeficientes para cada tecnología corresponderán a este costo (ver Cuadro 2.3), pero el costo total será el observado en 2012 (ver Cuadro A1.3).

**Cuadro A1.3**  
**Costos totales de generación**  
**Servicio Público de Energía Eléctrica, 2012**

Tipo de planta	Generación Bruta (GWh)	Costo promedio de generación (M US\$/GWh)	Costo total de generación (M US\$)
Hidroeléctrica	31,248.47	100.48	3,139,846.41
Termoeléctrica Conv.	53,917.76	140.88	7,595,933.40
Ciclo Combinado	117,556.89	58.15	6,835,932.95
Carboeléctrica	17,724.10	67.54	1,197,085.93
Núcleo eléctrica	8,769.60	91.27	800,401.28
Geotermoeléctrica	5,816.64	94.77	551,214.10
Eololéctrica	1,744.14	81.16	141,554.76
Fotovoltaica	2.08	189.74	393.98
<i>Total</i>	<i>236,779.68</i>	<i>-</i>	<i>20,262,362.81</i>

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CFE(2012b) y SIE (2013b).

De tal forma, las restricciones en forma matemática quedaron de la siguiente manera:

s.a.

- a) Generación máxima posible por tecnología

$$\begin{aligned} X_1 &\leq 42301.98 \\ X_2 &\leq 69686.22 \\ X_3 &\leq 126349.22 \\ X_4 &\leq 18220.80 \\ X_5 &\leq 12693.24 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_6 &\leq 6043.17 \\ X_7 &\leq 1963.12 \\ X_8 &\leq 2.19 \end{aligned}$$

b) Generación mínima necesaria total

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 \geq 236779.68$$

c) Costos totales de generación

$$\begin{aligned} 100.63 * X_1 + 149.32 * X_2 + 63.53 * X_3 + 78.65 * X_4 + 91.27 * X_5 + 96.15 * X_6 + 81.16 * X_7 + \\ 189.74 * X_8 \leq 20262362.81 \end{aligned}$$

Los datos ingresados al programa de optimización en LINGO, fueron:

```

model:
min=15*x1+822.4*x2+524.44*x3+1082.98*x4+0*x5+135.07*x6+0*x7+0*x8;
x1<=42301.98;
x2<=69686.22;
x3<=126349.22;
x4<=18220.8;
x5<=12693.24;
x6<=6043.17;
x7<=1963.12;
x8<=2.19;
x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8>=236779.68;
100.63*x1+149.32*x2+63.53*x3+78.65*x4+91.27*x5+96.15*x6+81.16*x7+189.74*x
8<=20262362.81;
end

```

Y los resultados obtenidos se muestran en la imagen siguiente.

Los resultados fueron plasmados en el Cuadro 2.4, donde el valor de la generación bruta en el Escenario 1, refleja el valor obtenido de las “X” en este programa.

Así mismo, en el Cuadro 2.5 se registran los precios duales obtenidos mediante LINGO.

ANEXOS

---

Objective value: 0.1104137E+09  
 Infeasibilities: 0.000000  
 Total solver iterations: 2

Model Class: LP

Total variables: 8  
 Nonlinear variables: 0  
 Integer variables: 0

Total constraints: 11  
 Nonlinear constraints: 0

Total nonzeros: 29  
 Nonlinear nonzeros: 0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	42301.98	0.000000
X2	33240.82	0.000000
X3	126349.2	0.000000
X4	14185.94	0.000000
X5	12693.24	0.000000
X6	6043.170	0.000000
X7	1963.120	0.000000
X8	2.190000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.1104137E+09	-1.000000
2	0.000000	986.9336
3	36445.40	0.000000
4	0.000000	614.2917
5	4034.860	0.000000
6	0.000000	1036.447
7	0.000000	883.3826
8	0.000000	1073.725
9	0.000000	673.3602
10	0.000000	-1372.984
11	0.000000	3.687279

---

## ANEXO 2

De manera similar al Escenario 1, fue planteado el Escenario 2, con la diferencia que para éste se utilizaron estimaciones de generación eléctrica máxima, generación total y costos para 2026.

El planteamiento del Escenario 2 fue:

### *Objetivo*

Minimizar el valor de Z, que representa el total de emisiones de bióxido de carbono (medidas en toneladas de CO<sub>2</sub>) generadas por la producción de electricidad para el servicio público en 2026, mediante las tecnologías hidroeléctrica, termoeléctrica convencional, ciclo combinado, carboeléctrica, nucleoeeléctrica, geotérmica, eólica y solar fotovoltaica.

Z será la sumatoria de los productos de las emisiones de bióxido de carbono por cada gigawatt-hora generado (medidas en tCO<sub>2</sub>/GWh) de cada tecnología multiplicadas por la cantidad generación eléctrica óptima (medida en GWh) de cada tecnología.

En el Cuadro 2.3 presentado en el capítulo dos de esta tesis, tenemos los valores de las emisiones de CO<sub>2</sub> por GWh por tipo de tecnología, con lo cual el objetivo expresado como un problema de optimización queda así:

Min

$$Z = 15X_1 + 822.4X_2 + 524.44X_3 + 1082.98X_4 + 0X_5 + 135.07X_6 + 0X_7 + 0X_8$$

Donde:

$X_1 =$  Energía eléctrica bruta generada por hidroeléctricas medida en GWh

$X_2 =$  Energía eléctrica bruta generada por termoeléctricas medida en GWh

$X_3 =$  Energía eléctrica bruta generada por ciclo combinado medida en GWh

$X_4 =$  Energía eléctrica bruta generada por carboeléctricas medida en GWh

$X_5$  = Energía eléctrica bruta generada por nucleoelectricas medida en GWh

$X_6$  = Energía eléctrica bruta generada por geotermoeléctricas medida en GWh

$X_7$  = Energía eléctrica bruta generada por eoloeléctricas medida en GWh

$X_8$  = Energía eléctrica bruta generada por solar fotovoltaica medida en GWh

### Sujeto a

La minimización de las emisiones de CO<sub>2</sub> está sujeta a tres restricciones:

- a) Generación anual máxima posible por tecnología (medida en GWh). Cada una de las tecnologías solo puede generar una determinada cantidad de gigawatts-hora como límite máximo. Para estimar la generación máxima posible para 2026, se utilizó como base el potencial de las fuentes renovables para 2020 y los porcentajes máximos estimados de fósiles y nuclear.

En el Cuadro A2.1 observamos el cálculo de la generación máxima posible en 2026 para las tecnologías hidroeléctrica, eólica, fotovoltaica y geotérmica, basados en el potencial que el gobierno federal ha calculado para estas fuentes (SENER 2012b). En el mismo cuadro, se observa que el potencial para las tecnologías termo y carboeléctricas no cambió con respecto al

Escenario 1 de 2012, lo cual se debe a que el precio dual en el Escenario 1 para estas tecnologías, fue cero, por lo que es innecesario

**Cuadro A2.1**  
Generación máxima posible por tecnología  
Servicio Público de Energía Eléctrica, 2026

Tecnología	Potencial 2026 (MW)	Factor de planta promedio	Horas al año	Generación máxima posible (GWh)
Hidroeléctrica	21,000.00	0.42	8,760.00	77,263.20
Termoeléctrica Conv.	15,142.48	0.68	8,760.00	90,642.86
Ciclo Combinado	NA	NA	NA	290,045.60
Carboeléctrica	2,600.00	0.80	8,760.00	18,220.80
Nucleoelectrica	NA	NA	NA	22,311.20
Geotermoeléctrica	2,200.00	0.85	8,760.00	16,381.20
Eoloeléctrica	12,000.00	0.38	8,760.00	39,420.00
Fotovoltaica	1,500.00	0.25	8,760.00	3,285.00
<i>Total</i>	-	-	-	557,569.86

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CFE (2012b; 2012c) y SENER (2012b).

agregar mayor capacidad en este nuevo escenario. Finalmente para el ciclo combinado y la nucleoelectrica, la estimación de la generación anual máxima posible se hizo de manera directa al tomar en cuenta que la matriz energética para 2026 no debe contener más del 65% de energía fósil y tampoco más del 5% de energía nuclear, considerando la estimación de generación total para 2026 de 446,234 GWh, según datos del *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico, POISE, 2012-2026* (CFE 2012c).

- b) Generación mínima necesaria total (medida en GWh). Utilizando nuevamente datos del *POISE 2012-2026* (CFE 2012c), se requiere que en este escenario se generen como mínimo un total de 446,234 GWh.
- c) Costos totales de generación (medidos en miles de dólares). Para determinar el costo máximo aceptable en este escenario, se calculó el costo promedio de generación eléctrica en 2012, que fue de 87.25 MUS\$/GWh, el cual fue multiplicado por la generación estimada para 2026 (446,234 GWh) y así se obtuvo un costo total de 38,937,149.80 miles de dólares

De tal forma, las restricciones en forma matemática quedaron:

s.a.

- a) Generación máxima posible por tecnología

$$\begin{aligned} X_1 &\leq 77263.20 \\ X_2 &\leq 90642.86 \\ X_3 &\leq 290045.60 \\ X_4 &\leq 18220.80 \\ X_5 &\leq 22311.20 \\ X_6 &\leq 3285.00 \\ X_7 &\leq 16381.20 \\ X_8 &\leq 39420.00 \end{aligned}$$

- b) Generación mínima necesaria total

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 \geq 446234.00$$

- c) Costos totales de generación

$$100.63 * X_1 + 149.32 * X_2 + 63.53 * X_3 + 78.65 * X_4 + 91.27 * X_5 + 96.15 * X_6 + 81.16 * X_7 + 189.74 * X_8 \leq 38937149.80$$

Los datos ingresados en el programa LINGO, fueron:

```

model:
min=15*x1+822.4*x2+524.44*x3+1082.98*x4+0*x5+135.07*x6+0*x7+0*x8;
x1<=77263.2;
x2<=90642.86;
x3<=290045.6;
x4<=18220.8;
x5<=22311.2;
x6<=16381.2;
x7<=39420;
x8<=3285;
x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8>=446234;
100.63*x1+149.32*x2+63.53*x3+78.65*x4+91.27*x5+96.15*x6+81.16*x7+189.74*x
8<=38937149.80;
end

```

Y los resultados:

Objective value:	0.1541866E+09
Infeasibilities:	0.000000
Total solver iterations:	1
Model Class:	LP
Total variables:	8
Nonlinear variables:	0
Integer variables:	0
Total constraints:	11
Nonlinear constraints:	0
Total nonzeros:	29
Nonlinear nonzeros:	0

Variable	Value	Reduced Cost
X1	77263.20	0.000000
X2	0.000000	297.9600
X3	287573.4	0.000000
X4	0.000000	558.5400
X5	22311.20	0.000000
X6	16381.20	0.000000
X7	39420.00	0.000000
X8	3285.000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	0.1541866E+09	-1.000000
2	0.000000	509.4400
3	90642.86	0.000000
4	2472.200	0.000000
5	18220.80	0.000000
6	0.000000	524.4400
7	0.000000	389.3700
8	0.000000	524.4400
9	0.000000	524.4400
10	0.000000	-524.4400
11	5458597.	0.000000

## REFERENCIAS

AMDEE, Asociación Mexicana de Energía Eólica (2010). *Panorama General de la Energía Eólica en México*. México, D. F. Consultado el 10 de abril de 2013, en: [http://www.amdee.org/Amdee/AMDEE\\_presentacion\\_esp.pdf](http://www.amdee.org/Amdee/AMDEE_presentacion_esp.pdf)

----- (2013). *Socios de AMDEE: Fabricantes de equipo*. México, D. F.: Autor. Consultado el 15 de mayo de 2013, en: <http://amdee.org/socios-de-amdee/fabricantes-de-equipos>

APPA, Asociación de Productores de Energías Renovables (2010). *Impactos ambientales de la producción de electricidad. Estudio comparativo de ocho tecnologías de generación eléctrica*. España. Consultado el 23 de junio de 2012, en: [http://www.appa.es/descargas/Resumen\\_Estudio\\_ACV.pdf](http://www.appa.es/descargas/Resumen_Estudio_ACV.pdf)

Asamblea de Pueblos del Istmo (2013). *Documental: Somos viento - Resistencia en el Istmo contra el proyecto eólico*. México. Consultado el 6 de julio de 2013, en: [http://www.youtube.com/watch?v=9R3FFxIALUI&src\\_vid=JaV56DYy1NU&feature=iv&annotation\\_id=annotation\\_763851](http://www.youtube.com/watch?v=9R3FFxIALUI&src_vid=JaV56DYy1NU&feature=iv&annotation_id=annotation_763851)

Ayala Espino, José (1996). *Mercado, elección pública e instituciones. Una revisión de las teorías modernas del Estado*. México, D.F.: Facultad de Economía UNAM y Miguel Ángel Porrúa.

Backwell London, Ben (2012). 'Gamesa back in wind top-five as GE drops out – analysts'. *Recharge*. 7 de marzo de 2012. Consultado el 9 de diciembre de 2012, en: <http://www.rechargenews.com/wind/article1295534.ece>

Banxico, Banco de México (2013). *Estadísticas*. México, D. F. Consultado el 8 de enero de 2013, en: <http://www.banxico.org.mx/estadisticas/>

Basave Kunhardt, Jorge (2010). *Cadenas productivas y nueva política industrial*. En Aguilar Monteverde, Alonso et al (Coord.), *¿Tiene México una política industrial?*, (pp. 15-31), México D.F.: Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM y Centro Mexicano de Estudios Sociales A. C.

Baumol, W.J. y Oates, W.E. (1988). *The theory of environmental policy*. Cambridge: Cambridge University Press.

Borja Díaz, Marco Antonio (2008). 'Oportunidades y retos para el desarrollo eoloeléctrico en México'. *Boletín IIE*. Abril-junio 2008, pp. 65-72. Consultado el 13 de agosto de 2012, en: <http://www.iie.org.mx/boletin022008/artec.pdf>

----- (2012). *Country reports: Mexico*. En IEA (Ed.), *IEA Wind, 2011 Annual Report*, (pp. 132-136). Consultado el 9 de marzo de 2012, en [http://www.ieawind.org/annual\\_reports\\_PDF/2011.html](http://www.ieawind.org/annual_reports_PDF/2011.html)

Borja Díaz, Marco Antonio, González Galarza, Raúl, Mejía Neri, Fortino, Huacuz Villamar, Jorge Maximiliano, Medrano Vaca, María Consolación y Saldaña Flores, Ricardo (1998). *Estado del arte y tendencias de la tecnología eoloeléctrica*. México, D. F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Eléctricas.

Borja Díaz, Marco Antonio, Jaramillo Salgado, Oscar A. y Mimiaga Sosa, Fernando (2005). *Primer Documento del Proyecto Eoloeléctrico del Corredor Eólico del Istmo de Tehuantepec*. México, D.F.:

Instituto de Investigaciones Eléctricas, Gobierno del Estado de Oaxaca, UNDP México, Global Environment Facility.

Bustos López, Julio César (2012). 'La industria de las manufacturas eléctricas, un sector imprescindible para el desarrollo nacional. Entrevista con el Ing. Hugo Gómez Sierra, Presidente de CANAME'. *CANAME*. Mayo - agosto 2012, pp. 24-31. Consultado el 7 de agosto de 2013, en: [http://www.caname.org.mx/images/stories/caname/servicios/publicaciones/revista/mayo-agosto-2012/La\\_industria\\_de\\_manufacturas\\_electricas.pdf](http://www.caname.org.mx/images/stories/caname/servicios/publicaciones/revista/mayo-agosto-2012/La_industria_de_manufacturas_electricas.pdf)

Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2003). *El financiamiento privado de electricidad a través de los esquemas Pidiregas*. México, D. F.: Servicio de Investigación y Análisis, División de Economía y Comercio. Consultado el 9 de julio de 2012, en: <http://www.diputados.gob.mx/cedia/sia/se/SIA-DEC-44-2003.pdf>

CANWEA, Canadian Wind Energy Association (2012). 'Global wind power boom continues despite economic woes'. *CANWEA*. 2 de abril de 2010. Canada. Consultado el 29 de julio de 2012, en: [http://www.canwea.ca/media/release/release\\_e.php?newsId=74](http://www.canwea.ca/media/release/release_e.php?newsId=74)

Capdevielle, Mario (2003). *Composición tecnológica de la industria manufacturera mexicana*. En Aboites, Jaime y Dutreint, Gabriela (Coord.), *Innovación, aprendizaje y creación de capacidades tecnológicas*, (pp. 451-470), México, D. F.: UAM y Miguel Ángel Porrúa.

Capdevielle, Mario (2008). *Globalización de los procesos productivos y desarrollo de capacidades locales: análisis del caso mexicano*. En Corona Treviño, Leonel y Molero Zayas, José (Edit.), *Los retos de la innovación en España y México*, (pp. 259-272), Madrid: Akal.

Cardero García, María Elena y Domínguez Villalobos, Lilia (2007). *¿Puede México aplicar una política industrial? Márgenes en el TLC y la OCDE*. En Calva, José Luis (Coord.), *Agenda para el desarrollo, Volumen 7, Política Industrial Manufacturera*, (pp. 23-36), México D. F.: H. Cámara de Diputados, UNAM-Miguel Ángel Porrúa.

Casalet, Mónica (1996). 'Una nueva orientación en la relación innovación-producción en México'. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Sistema de Información Científica. Perfiles Latinoamericanos*. Núm. 7, diciembre 1996, pp. 99-119, México: FLACSO. Consultado el 16 de enero de 2014, en: <http://www.redalyc.org/pdf/115/11500705.pdf>

CDPIM, Comisión para el Diálogo con los Pueblos Indígenas de México (2013). *La energía eólica en México. Una perspectiva social sobre el valor de la tierra*. México, D. F. Consultado el 21 de enero de 2014, en: <http://www.cdpim.gob.mx/v4/pdf/eolico.pdf>

CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2001). 'Retos y posibles soluciones para el sector energético mexicano'. *CEPAL*. LC/MEX/L.505, 20 de diciembre de 2001. Consultado el 20 de febrero de 2013, en: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/4/9474/lcmexl505e.pdf>

Ceyca Lugo, Sergio Erasmo y Romero Morett, Martín G. (2006). *La industria eléctrica en México. Crítica económica a las propuestas de reforma*. Zapopan, Jalisco: Universidad de Guadalajara.

CFE, Comisión Federal de Electricidad (2012a). *Conoce CFE, Energía Renovable, Energía Eólica*. México, D. F. Consultado el 9 de noviembre de 2011, en: [http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo\\_Sustentable/energiarenovable/Paginas/Energiaeolica.aspx](http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/Desarrollo_Sustentable/energiarenovable/Paginas/Energiaeolica.aspx)

## REFERENCIAS

---

----- (2012b). *Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión del Sector Eléctrico 2012*. México, D. F.

----- (2012c). *Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico 2012-2026*. México, D.F. Consultado el 12 de mayo de 2013, en: [www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

CONACYT, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2013a). *Fondos de Innovación Tecnológica SE-CONACYT*. México, D. F. Consultado el 15 de junio de 2013, en: <http://www.conacyt.gob.mx/FondosyApoyos/Sectoriales/DesarrolloTecnologicoInnovacion/FIT/Paginas/Resultados.aspx>

----- (2013b). *Fondo Sectorial de Innovación SE-CONACYT*. México, D. F. Consultado el 15 de junio de 2013, en: <http://www.conacyt.gob.mx/FondosyApoyos/Sectoriales/DesarrolloTecnologicoInnovacion/FINNOV/Paginas/default.aspx>

----- (2013c). *Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energía CFE-CONACYT*. México, D. F. Consultado el 30 de diciembre de 2013, en: <http://www.conacyt.gob.mx/FondosyApoyos/Sectoriales/InvestigacionBasicaAplicada/FondosSectorialesEnergia/CFE/Paginas/default.aspx>

----- (2013d). *Fondo Sectorial de Sustentabilidad Energética SENER-CONACYT*. México, D. F. Consultado el 30 de diciembre de 2013, en: <http://www.conacyt.gob.mx/FondosyApoyos/Sectoriales/InvestigacionBasicaAplicada/FondosSectorialesEnergia/EnergeticaSENER/Paginas/default.aspx>

----- (2013e). *Programa de Estímulos a la Innovación*. México, D. F. Consultado el 15 de junio de 2013, en: <http://www.conacyt.gob.mx/FondosyApoyos/Sectoriales/DesarrolloTecnologicoInnovacion/PEI/Paginas/default.aspx>

*Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Diario Oficial de la Federación. 10 de febrero de 2014 y versiones anteriores. México, D. F.

CRE, Comisión Reguladora de Energía (2010). *Contrato de Interconexión para Centrales de Generación de Energía Eléctrica con Energía Renovable o Cogeneración Eficiente*. México, D.F. Consultado el 18 de noviembre de 2012, en: <http://www.cre.gob.mx/documento/1328.pdf>

----- (2011). *El papel de la CRE en el desarrollo de las energías renovables*. México, D. F. Consultado el 3 de enero de 2014, en <http://www.cre.gob.mx/documento/1913.pdf>

----- (2013). *Tabla de permisos de generación e importación de energía eléctrica administrados al 31 de marzo de 2013*. México, D. F. Consultado el 29 de noviembre de 2013, en: [www.cre.gob.mx/documento/1565.xls](http://www.cre.gob.mx/documento/1565.xls)

Cruz Velázquez, Bettina (2008). 'Desarrollo regional en el Istmo de Tehuantepec: una perspectiva desde el territorio'. *Aquí estamos. Revista de exbecarios indígenas del IFP-México*. Año 5, N° 8, enero-junio 2008. México, D.F.: Ford Foundation Internacional y CIESAS. Consultado el 5 de mayo de 2012, en: <http://www.ciesas.edu.mx/ciesas-ford/Revistas.htm>

- D'Souza, Neil, Gbgebaje-Das, Erhi y Shonfield, Peter (2011). *Life Cycle Assessment of Electricity Production from a V112 Turbine Wind Plant*. Dinamarca: PE International. Consultado el 17 de septiembre de 2012, en: [http://www.vestas.com/Files/Filer/EN/Sustainability/LCA/LCA\\_V112\\_Study\\_Report\\_2011.pdf](http://www.vestas.com/Files/Filer/EN/Sustainability/LCA/LCA_V112_Study_Report_2011.pdf)
- Daly, Herman E. y Farley, Joshua (2004). *Ecological Economics: principles and applications*. EUA: Island Press.
- De la Vega, Ángel (2012). 'Transformación del sistema energético, ¿regulación vs planeación?'. *Energía a debate*. No. 48, enero-febrero 2012, pp. 20-23. México, D. F.
- Dynamik Kontroll (2013). *DinKo*. Consultado el 13 de marzo de 2013, en: [http://www.dynko.com/esp/Quienes\\_somos.html](http://www.dynko.com/esp/Quienes_somos.html)
- Econoticias (2010). 'Torres de viento de la coreana C.S. Wind Corporation, en el municipio de Matamoros, Tamaulipas'. *Econoticias*. Consultado el 29 de abril de 2013, en: <http://www.ecoticias.com/energias-renovables/27030/rss.php>
- Elizalde, Triunfo (1992). 'El TLC, ocasión para revisar la diversificación energética: CFE'. *La Jornada*. México, D. F.
- El Moneterio (2013). 'Completa Vientek su retirada de Ciudad Juárez'. *El Moneterio*. México, D. F. Consultado el 26 de mayo de 2013, en: <http://www.elmoneterio.com.mx/?p=32791>
- Enertech Fabricaciones (2013). *Quiénes somos*. México, D. F. Consultado el 26 de mayo de 2013, en: <http://www.enertech.com.mx/quienes.html>
- European Energy Exchange (2013). *European Carbon Futures*. Consultado el 5 de marzo de 2013, en: <https://www.eex.com/en/Market%20Data/Trading%20Data/Emission%20Rights/European%20Carbon%20Futures%20%7C%20Derivatives>
- EWEA, European Wind Energy Association (2012). *Green Growth. The impact of wind energy on jobs and the economy*. Consultado el 26 de diciembre de 2012, en: [http://www.ewea.org/uploads/tx\\_err/Green\\_Growth.pdf](http://www.ewea.org/uploads/tx_err/Green_Growth.pdf)
- Ferrari, Luca y Estrada Gasca, Claudio A. (2012). *Crisis energética mundial: diagnóstico y alternativas*. En Calva, José Luis (Coord.), *Crisis energética mundial y futuro de la energía en México*, (pp. 19-39), México, D.F.: Consejo Nacional de Universitarios.
- Field, Barry C. y Field, Martha K. (1994). *Environmental economics: an introduction*. Nueva York: Mc Graw Hill.
- Flores, Rubén (2014). Comunicación personal con Rubén Flores, Comisionado de la CRE. 10 de enero de 2014. México, D. F.
- Flores Verduzco, Juan José (2003). *Integración económica al TLCAN en México*. México, D. F.: Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM.
- Fundación Eroski (2004). *Infografía: Energía Eólica*. Consultado el 9 de diciembre de 2011, en: [http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/energia\\_y\\_ciencia/2004/07/05/140148.php](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2004/07/05/140148.php)

## REFERENCIAS

---

- Frisa (2013). *Frisa*. Consultado el 6 de abril de 2013, en: <http://www.frisa.com/es>
- Furtado, Celso (1968). *Teoría y política del desarrollo económico*. México D. F.: Siglo XXI.
- Galindo, Miguel Angel y Malgesini, Graciela (1994). *Crecimiento Económico. Principales teorías desde Keynes*. Madrid, España: Mc Graw Hill.
- Garduño, Roberto (2013). 'Parques eólicos en México: pagos raquíticos, ganancias millonarias'. *La Jornada*. 27 de octubre de 2013. Consultado el 29 de enero de 2014, en: <http://www.jornada.unam.mx/2013/10/27/politica/003n1pol>
- Garza, Juan Ramón (2013). 'Speco, con viento a favor en Monclova'. *Zócalo Saltillo*. 30 de abril de 2013. Consultado el 30 de mayo de 2013, en: <http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/speco-con-viento-a-favor-en-monclova-1367300067>
- Gobierno de la República (2013). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018*. México. D. F. Consultado el 15 de febrero de 2014, en: <http://pnd.gob.mx/>
- GWEC, Global Wind Energy Council (2008). *Global Wind 2008 Report*. Consultado el 21 de octubre de 2012, en: <http://gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Global-Wind-2008-Report.pdf>
- (2012). *Global Wind Report. Annual Market Update 2012*. Consultado el 4 de junio de 2013, en: [http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual\\_report\\_2012\\_LowRes.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2012_LowRes.pdf)
- Helpman, Elhanan (2004). *El misterio del crecimiento económico*. España: Antoni Bosch.
- IEA, International Energy Agency (2011a). *CO2 emissions from fuel combustion 2011*. Consultado el 16 de mayo de 2012, en: <http://www.iea.org/publications/>
- (2011b). *Key world energy statistics 2011*. Consultado el 16 de mayo de 2012, en: <http://www.iea.org/publications/>
- (2012a). *Electricity Information 2012*. Consultado el 25 de abril de 2013, en: <http://www.iea.org/publications/>
- (2012b). *Key world energy statics 2012*. Consultado el 6 de agosto de 2013, en: <http://www.iea.org/publications/>
- (2013a). *CO2 emissions from fuel combustion 2013*. Consultado el 29 de diciembre de 2013, en: <http://www.iea.org/publications/>
- (2013b). *Key world energy statics 2013*. Consultado el 29 de diciembre de 2013, en: <http://www.iea.org/publications/>
- IFAI, Instituto Federal de Acceso a la Información y Protección de Datos (2013). *Oficio DGS/211/948/2013*. México. D. F.
- IIE, Instituto de Investigaciones Eléctricas (2005). *Taller de ruta tecnológica de la energía eólica en México para los próximos 25 años*. Cuernavaca, Morelos. Consultado el 15 de junio de 2013, en: <http://planeolico.iie.org.mx/resultadotrtrt.pdf>

## REFERENCIAS

---

----- (2013). *Centro Regional de Tecnología Eólica, CERTE*. Cuernavaca, Morelos. Consultado el 15 de agosto de 2013, en: [http://www.iie.org.mx:8080/SitioGENC/Folletos/01b\\_Proyectos\\_CERTE.pdf](http://www.iie.org.mx:8080/SitioGENC/Folletos/01b_Proyectos_CERTE.pdf)

Industrias Auge (2011). *Industrias Auge. Fabricante de Sistemas de Anclaje Eólico y Sujeciones Mecánicas*. México, D.F.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (1990). *Censo General de Población y Vivienda 1990*. México, D.F.

----- (2000). *Censo General de Población y Vivienda 2010*. México, D.F.

----- (2010). *Censo General de Población y Vivienda 2010*. México, D.F.

----- (2013). Estadísticas del Banco de Información Económica. México. D. F. Consultado el 16 de octubre de 2013, en: <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>

IPCC, Intergovernmental Panel of Climate Change (2007). *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4)*. Ginebra, Suiza. Consultado el 5 de febrero de 2012, en: [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/syr/es/contents.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/syr/es/contents.html)

----- (2012), *Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Nueva York: Cambridge University Press. Consultado el 16 de mayo de 2013, en: <http://srren.ipcc-wg3.de/>

González Galarza, Raúl, Franco Nava, José Manuel, Carvajal Martínez, Francisco Antonio, Jiménez Grajales, Humberto Raúl, Silva Farías, José Luis, Garduño Ramírez, Raúl y Torres Contreras, Ignacio (2013). 'Desarrollo de la Máquina Eólica Mexicana en el IIE: proyecto MEM'. *Boletín IIE*. Abril-junio 2013, pp. 58-66. Consultado en enero de 2014 en: <http://www.iie.org.mx/boletin022013/tecnico.pdf>

Gutiérrez Negrín, Luis C. A. (2010). *Energía geotérmica*. En ITAM-USAID, Energías renovables: Impulso político y tecnológico para un México sustentable, (pp. 222-261). México, D. F.

Jiménez, Miguel A. (2010). 'Llega a Matamoros CS Wind de México'. *Impacto Noticias*. 28 de mayo de 2010. Matamoros, Tamaulipas. Consultado el 29 de noviembre de 2012, en: [http://www.impactonoticias.com/despliega\\_noticia.php?id=515064](http://www.impactonoticias.com/despliega_noticia.php?id=515064)

Katz, Jorge M. (1976). *Importación de tecnología, aprendizaje e industrialización dependiente*. México D. F.: Fondo de Cultura Económica.

Kaydon (2013). *Kaydon*. Consultado el 30 de julio de 2013, en: [http://www.kaydonbearings.com/plant\\_locations.htm](http://www.kaydonbearings.com/plant_locations.htm)

Lara Rivero, Arturo y Díaz-Berrio, Adriana (2003). *Cambio tecnológico y socialización del conocimiento tácito*. En Aboites, Jaime y Dutreint, Gabriela (Coord.), Innovación, aprendizaje y creación de capacidades tecnológicas, pp. (365-395), México, D. F.: UAM y Miguel Ángel Porrúa.

La red noticias (2013). 'Completa Vientek expansión de su centro manufacturero en Juárez'. *La red noticias*. Consultado el 26 de junio de 2013, en: <http://www.larednoticias.com/noticias.cfm?n=29442>

Ledec, George C., Rapp, Kennan W. y Aiello, Roberto G. (2011). *Greening the wind. Environmental and social considerations for wind power development*. EUA: World Bank.

Leyva García, Heriberto (1992). 'Reforma al artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos'. *Revista de la Facultad de Derecho de México*. No. 183-184, mayo-agosto de 1992, pp. 286-302. Consultado el 5 de octubre de 2011, en <http://www.juridicas.unam.mx/publica/rev/indice.htm?r=facdermx&n=183>

*Ley de la Comisión Reguladora de Energía*. Diario Oficial de la Federación. 28 de noviembre de 2008. México, D. F.

*Ley del Impuesto al Valor Agregado*. Diario Oficial de la Federación. 11 de diciembre de 2013. México, D. F.

*Ley del Impuesto Sobre la Renta*. Diario Oficial de la Federación. 11 de diciembre de 2013. México, D. F.

*Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica*. Diario Oficial de la Federación. 9 de abril de 2012. México, D. F.

*Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética*. Diario Oficial de la Federación. 12 de enero de 2012. México, D. F.

Liebherr (2013). *Aerogeneradores Liebherr*. Consultado el 5 de febrero de 2013, en: [http://www.liebherr.com/CP/es-ES/products\\_cp.wfw/id-18241-0](http://www.liebherr.com/CP/es-ES/products_cp.wfw/id-18241-0)

Lindo Systems Inc (2014). *An Overview of LINGO*. Consultado el 10 de enero de 2014, en: [http://www.lindo.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=10](http://www.lindo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=10)

Martin, Jeremy M. y Orco, Vanessa (2011). 'Shale gas en América Latina'. *Energía a debate*. No. 46, sep-oct 2011, pp. 31-32. México. D. F.

Millán, Mauricio (2013). 'Las manufacturas eléctricas, proveedor confiable de la industria energética nacional e internacional'. *CANAME*. No. 28, abril-junio 2013, pp. 24-26. Consultado el 5 de agosto de 2013, en: [http://www.caname.org.mx/images/stories/caname/servicios/publicaciones/revista/abril-junio-2013/Las\\_manufacturas\\_electricas.pdf](http://www.caname.org.mx/images/stories/caname/servicios/publicaciones/revista/abril-junio-2013/Las_manufacturas_electricas.pdf)

Mochón Morcillo, Francisco (1995). *Principios de Economía*. Madrid: Mc Graw Hill.

ModuTram (2013). *Consortio GRT México*. Consultado el 5 de Julio de 2013, en: <http://www.modutram.com/empresa/consorcio.html>

Morales, Alex (2012). 'Vestas Remains Top Wind Turbine Maker, Goldwind Is Second'. *Bloomberg - Business Financial & Economic News*. 26 de marzo de 2012. Consultado el 15 de octubre de 2013, en: <http://www.bloomberg.com/news/2012-03-26/vestas-led-wind-turbine-suppliers-in-2011-btm-consult-says.html>

Mowery, David y Rosenberg, Nathan (1992). *La tecnología y la búsqueda del crecimiento económico*. México D. F.: Conacyt.

## REFERENCIAS

---

OCDE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (1994). *La fiscalidad y el medio ambiente: políticas complementarias*. Madrid, España.

Olmedo, Fernando (2008). 'Ampliara Vientek su segunda planta en México'. *Biodisol*. 30 de abril de 2008. Consultado el 26 de diciembre de 2012, en: <http://www.biodisol.com/energia-eolica/ampliara-vientek-su-segunda-planta-en-mexico/>

Olson, Georgina (2012). 'Calderón inaugura dos parques eólicos en Oaxaca'. *Excelsior*. 3 de octubre de 2012. México. D. F. Consultado el 6 de diciembre de 2012, en: <http://www.excelsior.com.mx/2012/10/31/nacional/867187>

OPEC, Organization of the Petroleum Exporting Countries (2013). *Annual Statistical Bulletin 2013*. Consultado el 8 de noviembre de 2013, en: <http://www.opec.org/library/Annual%20Statistical%20Bulletin/interactive/current/FileZ/Main.htm>

Oxfam (2009). *Impacto de los proyectos MDL sobre el desarrollo humano. Análisis de experiencias en Marruecos, Guatemala y México*. España. Consultado el 19 de enero de 2014, en: <http://www.nacionmulticultural.unam.mx/mezinal/docs/12.pdf>

PEMEX, Petróleos Mexicanos (2011). *Anuario Estadístico 2011*. México, D.F. Consultado el 9 de septiembre de 2012, en: [http://www.ri.pemex.com/files/content/pemex%20Anuario\\_a.pdf](http://www.ri.pemex.com/files/content/pemex%20Anuario_a.pdf)

Peto Von Duben, Dascina (2013). *La Producción Eoloeléctrica y la Distribución de la Renta Energética en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca*. Puebla. Tesis de Maestría, BUAP.

Potencia Industrial (2013). *Potencia Industrial*. Consultado el 1 de abril de 2013, en: <http://www.potenciaindustrial.com.mx/html/aboutus-sp.html>

Prolec GE (2013). *Productos*. Consultado el 1 de abril de 2013, en: <http://www.prolec.com.mx/internet-sp/>

Red Política (2014). *Paquete económico para el ejercicio fiscal 2014*. Consultado el 25 de enero de 2014, en: <http://www.redpolitica.mx/contenido/documento-completo-reforma-fiscal-y-hacendaria>

*Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica*. Diario Oficial de la Federación. 30 de noviembre de 2012. México, D. F.

REMACV, Red Mexicana de Análisis de Ciclo de Vida (2012). *¿Qué es el ACV?* México, D. F. Consultado el 6 de junio de 2012, en: <http://sitios.iingen.unam.mx/CicloDeVida/Quees.html>

REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2012a). *La inversión mundial en energías renovables aumentará a un récord de USD 257 billones*. Paris, Francia. Consultado el 26 de septiembre de 2012, en: [http://fs-uneep-centre.org/sites/default/files/media/gsr2012\\_press\\_release\\_short\\_spanish.pdf](http://fs-uneep-centre.org/sites/default/files/media/gsr2012_press_release_short_spanish.pdf)

----- (2012b). *Renewables 2012 global status report*. Paris, Francia. Consultado el 2 de febrero de 2013, en: <http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>

----- (2013). *Renewables 2013 global status report*. Paris, Francia. Consultado el 12 de enero de 2014, en: <http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx>

RENOVALIA (2005). *Situación de las Energías Renovables en España*. Madrid, España. Consultado el 6 de julio de 2012, en: [http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random498c45eb33988/1233930869\\_SituacEE\\_RR\\_Espa\\_a\\_proyectoRENOVALIA2005.pdf](http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random498c45eb33988/1233930869_SituacEE_RR_Espa_a_proyectoRENOVALIA2005.pdf)

Reve, Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico (2009). 'La eólica en México – Liebherr abrirá una fábrica en México'. *Reve*. 5 de agosto de 2009. Consultado el 26 de agosto de 2013, en: <http://www.evwind.com/2009/08/05/la-eolica-en-mexico-liebherr-abrira-una-fabrica-en-mexico/>

----- (2012). 'Eólica en México: el país tiene gran potencial eólico'. *Reve*. 17 de febrero de 2012. Consultado el 13 de enero de 2013, en <http://www.evwind.com/2012/02/17/eolica-en-mexico-gran-potencial-eolico/>

Rodríguez Padilla, Víctor (1999). *Impacto de la reforma económica sobre las inversiones de la industria eléctrica en México: el regreso del capital privado como palanca de desarrollo*. México, D.F.: CEPAL. Consultado el 21 de mayo de 2012, en: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/0/4540/lcl1175e.pdf>

Rojas, Rosa (2012). 'Modelo alternativo de asociación'. *La Jornada*. 25 de marzo de 2012. México, D.F. Consultado el 20 de enero de 2014, en: <http://www.jornada.unam.mx/2012/03/25/sociedad/037n2soc>

Sabugal, Santiago (2012). *La generación de electricidad con ciclos combinados. Proyectos en España*. Consultado el 9 de marzo de 2012, en: <http://www.ewh.ieee.org/soc/pes/spain/sabugal1.pdf>

Salado Hernández, Jesús (2002). 'Aprendizaje tecnológico en la cultura empresarial'. *Notas. Revista de información y análisis*. Num. 17, 2002. México: INEGI. Consultado el 19 de enero de 2014, en: <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/contenidos/Articulos/tecnologia/aprendizaje.pdf>

Salazar García, Juan (2012). 'Se va otra maquiladora. Despiden a 120 obreros de Vientek'. *El Mexicano*. 27 de octubre de 2012. Consultado el 6 de abril de 2013, en: <http://www.oem.com.mx/elmexicano/notas/n2748939.htm>

Sánchez Salazar, María Teresa, Casado Izquierdo, José María y Saavedra Silva, Eva (2003). *La inversión privada en el sector eléctrico en México: antecedentes, características y estructura territorial*. En Memorias del Coloquio Internacional: Energía, reformas institucionales y desarrollo en América Latina. Del 5 al 7 de noviembre de 2003. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México - Université PMF de Grenoble. Consultado el 9 de mayo de 2012, en: <http://www.posgrado.economia.unam.mx/p-cientifica/delavega.htm>

Santamarta, José (2012). 'Eólica: los mayores fabricantes de aerogeneradores en 2011', *Reve, Revista eólica y del vehículo eléctrico*. 13 de marzo de 2012. Consultado el 21 de julio de 2013, en: <http://www.evwind.com/2012/03/13/eolica-los-mayores-fabricantes-de-aerogeneradores-en-2011-por-jose-santamarta/>

## REFERENCIAS

---

SE, Secretaría de Economía (2000). *Decreto que establece la devolución de impuestos de importación a los exportadores*. México, D. F. Consultado el 19 de agosto de 2013, en: <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/industria-y-comercio>

----- (2010). *Decreto para el fomento de industria manufacturera, maquiladora y de servicios de exportación*. México, D. F. Consultado el 19 de agosto de 2013, en: <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/industria-y-comercio>

----- (2013a). *Energías Renovables*. México, D. F.: Unidad de inteligencia de Negocios. Consultado el 26 de septiembre de 2013, en: [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)

----- (2013b). *Energías Renovables*. México, D. F. Consultado el 7 de noviembre de 2013, en: [http://www.promexico.gob.mx/work/models/promexico/Resource/120/1/images/Energias\\_renovables\(1\).pdf](http://www.promexico.gob.mx/work/models/promexico/Resource/120/1/images/Energias_renovables(1).pdf)

----- (2013c) *Industria y Comercio*. México, D. F. Consultado el 19 de agosto de 2013, en: <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/industria-y-comercio>

----- (2013d). *¿Porqué México? Por su capital joven y altamente calificado*. México, D. F. Consultado el 7 de noviembre de 2013, en: [http://mim.promexico.gob.mx/wb/mim/energias\\_perfil\\_del\\_sector](http://mim.promexico.gob.mx/wb/mim/energias_perfil_del_sector)

----- (2013e). *Tratados y acuerdos comerciales firmados por México*. México, D. F. Consultado el 19 de agosto de 2013, en: <http://www.economia.gob.mx/comunidad-negocios/industria-y-comercio>

SENER, Secretaría de Energía (2009). *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables*. México, D.F.: Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico. Consultado el 21 de marzo de 2013, en <http://www.sener.gob.mx/webSener/res/0/Programa%20Energias%20Renovables.pdf>

----- (2012a). *Metodología para valorar externalidades asociadas con la generación de electricidad en México*. México, D. F. Consultado el 15 de junio de 2013, en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5282384&fecha=14/12/2012](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5282384&fecha=14/12/2012)

----- (2012b). *Prospectiva de Energías Renovables 2012-2026*. México, D.F. Consultado el 6 de mayo de 2013, en: [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pub/2012/PER\\_2012-2026.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/PER_2012-2026.pdf)

----- (2013a). *Fondo de Sustentabilidad Energética. Informe Cero*. México D. F. Consultado el 20 de enero de 2014 en: <http://sustentabilidad.energia.gob.mx/res/Libro%20Sustentabilidad%20V10%20-%20con%20forros.pdf>

----- (2013b). *Programa Sectorial de Energía 2013-2018*. México. D. F. Consultado el 31 de diciembre de 2013, en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5326587&fecha=13/12/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5326587&fecha=13/12/2013)

SHCP, Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2001). *Glosario de términos más usuales en la Administración Pública Federal*. México, D.F. Consultado el 5 de mayo de 2012, en:

[http://www.apartados.hacienda.gob.mx/contabilidad/documentos/informe\\_cuenta/1998/cuenta\\_publica/Glosario/glosario.htm](http://www.apartados.hacienda.gob.mx/contabilidad/documentos/informe_cuenta/1998/cuenta_publica/Glosario/glosario.htm)

----- (2013). *Proyecto de Presupuesto de Egresos de La Federación para el Ejercicio Fiscal 2013*. Tomo V: Entidades de control directo. México, D.F. Consultado el 22 de diciembre de 2013, en: <http://www.apartados.hacienda.gob.mx/presupuesto/temas/ppef/2013/index2.html>

SIE, Sistema de Información Energética (2013a). *Glosario en términos de electricidad*. Consultado el 19 de diciembre de 2013, en: [http://sie.energia.gob.mx/docs/glosario\\_elec\\_es.pdf](http://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_elec_es.pdf)

----- (2013b). *Información estadística*. México D. F. Consultado el 26 de diciembre de 2013, en: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>

SIICYT, Sistema Integrado de Información sobre Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación (2014). *Informe General del Estado de Ciencia y Tecnología 2002-2012*. México. D. F. Consultado el 29 de enero de 2014, en: <http://www.siicyt.gob.mx/siicyt/cms/paginas/IndCientifTec.jsp>

Siscar, Majo (2010). *Lo que la energía eólica española se llevó*. México: Periodismo humano. Consultado el 30 de enero de 2014, en: <http://periodismohumano.com/economia/multinacionales-lo-que-la-energia-eolica-espanola-se-llevo.html>

Smilovitz, Elie (2012). 'Las diez petroleras más grandes del mundo'. *Alto Nivel*. 19 de septiembre de 2012. Consultado el 29 septiembre de 2013, en: <http://www.altonivel.com.mx/23689-las-10-petroleras-mas-grandes-del-mundo.html>

Söderholm, Patrik y Klaassen, Ger (2006). 'Wind Power in Europe: A Simultaneous Innovation–Diffusion Model'. *Environmental & Resource Economics*, No. 36, pp. 163–190, DOI 10.1007/s10640-006-9025-z. Springer. Consultado el 17 de julio de 2013, en: [http://download.springer.com/static/pdf/950/art%253A10.1007%252Fs10640-006-9025-z.pdf?auth66=1390008050\\_2e0cb2c75459f72a447b9d141f7fcfde&ext=.pdf](http://download.springer.com/static/pdf/950/art%253A10.1007%252Fs10640-006-9025-z.pdf?auth66=1390008050_2e0cb2c75459f72a447b9d141f7fcfde&ext=.pdf)

Soto, Francisco (2013). 'Tamaulipas es potencial para energía eólica: Sener'. *Milenio*. 20 de noviembre de 2013. México, D. F. Consultado el 8 de diciembre de 2013, en: [http://www.milenio.com/negocios/Tamaulipas-potencial-energia-eolica-Sener\\_0\\_193780643.html](http://www.milenio.com/negocios/Tamaulipas-potencial-energia-eolica-Sener_0_193780643.html)

Suzigan, Wilson y Furtado, João (2006). 'Política industrial y desarrollo'. *Revista de la CEPAL*. No. 89, Agosto 2006, pp. 75-91. Consultado el 15 de diciembre de 2013, en: [www.eclac.org/revista/noticias/.../6/.../LCG2312eSuziganFurtado.pdf](http://www.eclac.org/revista/noticias/.../6/.../LCG2312eSuziganFurtado.pdf)

TPI Composites (2013). *Mitsubishi/TPI wind blade factory triples capacity in Mexico*. Consultado el 10 de febrero de 2013, en: <http://www.tpicomposites.com/press-room/archive/mitsubishi-tpi-wind-blade-factory-triples-capacity-in-mexico.aspx>

Torreblanca, Luis (2013). *Escenario actual de la innovación en México*. 5ª Jornada Nacional de Innovación y Competitividad. Aguascalientes, México. Noviembre 2013. Consultado el 1 de febrero de 2014, en: [http://www.conacyt.gob.mx/FondosyApoyos/Insitucionales/JornadaInnovacion/Presentaciones5/LUIS\\_TORREBLANCA-Escenario actual de la innovacion en Mexico.pdf](http://www.conacyt.gob.mx/FondosyApoyos/Insitucionales/JornadaInnovacion/Presentaciones5/LUIS_TORREBLANCA-Escenario actual de la innovacion en Mexico.pdf)

## REFERENCIAS

---

Trinity Industries de México (2013). *Trinity Industries de México*. México. D. F. Consultado el 31 de enero de 2013, en: <http://www.trinitymexico.com/Default.aspx>

Uranga, Alvarado Aimé (2011). *El aprovechamiento eólico en México y el financiamiento social de fuentes de energía renovables*. México, D. F. Tesis de Doctorado, UNAM.

Viniegra González, Gustavo (2007). *La estrategia económica, la tecnología y la distribución del ingreso*. En Calva, José Luis (Coord.), *Agenda para el desarrollo*, Volumen 10, Educación, ciencia, tecnología y competitividad, (pp. 155-171), México D. F.: H. Cámara de Diputados, UNAM-Miguel Ángel Porrúa.

WB, World Bank (2006). *Project Appraisal Document on a Proposed Grant from the Global Environment Trust Fund in the amount of US\$25.0 million to the United Mexican States for a Large-Scale Renewable Energy Development Project*. Consultado el 23 de junio de 2013, en: [http://www.sener.gob.mx/res/PE\\_y\\_DT/pe/Mexico%20GEF%20LSRDP%20PAD%207%20June%2020061.pdf](http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pe/Mexico%20GEF%20LSRDP%20PAD%207%20June%2020061.pdf)

----- (2014). *World Development Indicators 2013*. Consultado el 28 de enero de 2014, en: <http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>