



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales

**"Análisis comparativo Costo-Beneficio de la  
producción de electricidad con fuentes renovables y  
de las gasolinas fósiles en México en 2016"**

Borrador final  
Maestría en Políticas Públicas

**Presenta:**

Ing. Fernando Ortega Ortega

**Director de tesis:**

Dr. Mario Gómez Aguirre

Morelia, Mich. Agosto 2017

*“Las acciones económicas que incluyen actividades ambientales, tienen dos aspectos: por una parte, crean valor y, por la otra, enfrentan costos”*

Field

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al CONACYT por el apoyo para desarrollar mis capacidades en el ámbito del conocimiento y la investigación. Al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales por brindar educación de calidad y proporcionar las herramientas necesarias para la formación de maestros de calidad.

Agradezco a mi Director de tesis, Dr. Mario Gómez Aguirre, y a mi mesa sinodal compuesta por la Dra. Odette Virginia Delfín Ortega, Dr. José Carlos Rodríguez Chávez, Dr. Rodrigo Gómez Monge, Dr. Jerjes Aguirre Ochoa, a mi asesora externa Dra. María Molinos Senante de la Pontificia Universidad Católica de Chile, por su orientación, su tiempo, reflexiones, sugerencias y críticas que hicieron sobre el presente trabajo con el objetivo de mejorarlo.

Agradezco a todos mis profesores, Dr. Carlos Ortiz Paniagua, Dr. Plinio Hernández Barriga, Dr. Jerjes Aguirre Ochoa, Dr. José Carlos Rodríguez Chávez, Dr. José César Lenin Navarro Chávez, Dr. Casimiro Leco Tomas, Dr. Rubén Molina Martínez, Dr. José Odón García, Dr. Jorge Víctor Alcaraz Vera, que a lo largo de dos años estuvieron compartiendo su conocimiento en las aulas y transmitiendo lo mejor de sí para mi formación y la de mis compañeros.

Finalmente agradezco a mis compañeros por su solidaridad, apoyo y agradable compañía en este breve pero importante periodo de aprendizaje.

## ABREVIATURAS

ACB	Análisis Costo Beneficio
ACV	Análisis del Ciclo de Vida
BM	Banco Mundial
CEL	Certificado de Energías Limpias
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CEPAL	Comisión Económica para América Latina
CER	Certificado de Reducción de Emisiones
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CN	Costo Neto
CNP	Costo Neto de Producción
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CPG	Costo Promedio de Generación o producción
CRE	Comisión Reguladora de Energía
DOF	Diario Oficial de la Federación
FC	Flujo de Caja
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IEA	Agencia Internacional de Energía
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático
LCOE	Levelized Cost Of Energy
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
MW	Mega Wat
NREL	National Renewable Energy Laboratory
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPEP	Organización de Países Exportadores de Petróleo

---

PEMEX	Petróleos Mexicanos
PIB	Producto Interno Bruto
PND	Plan Nacional de Desarrollo
RGSR	Renewables Global Status Report
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía
UE	Unión Europea
VPN	Valor Presente Neto

## **GLOSARIO**

### **ACB**

Herramienta metodológica utilizada para medir las relaciones entre los costos y los beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad. En el campo de las políticas públicas permite medir en términos equiparables los factores positivos y negativos de un proyecto y su impacto económico y medio ambiental, logrando así tener la información necesaria para el diseño de políticas racionales (Molinos, 2011).

### **Combustibles fósiles**

Sustancias orgánicas, viscosa y obscura extraída desde el interior de la tierra, se forma en yacimientos generados por la descomposición de grandes acumulaciones de restos orgánicos comprimidos por movimientos geológicos y descompuestos por bacterias y microorganismos anaerobios bajo condiciones de presión y temperatura elevadas, se clasifican en: carbón, petróleo y gas (AVEN, 2009).

### **Energías renovables**

Las energías renovables provienen de fuentes primarias inagotables o con capacidad de regeneración en un periodo inferior al de su uso. Se basan en los flujos y ciclos naturales del planeta y son tan abundantes que perduran por cientos o miles de años las usemos o no, utilizadas con responsabilidad no destruyen el medio ambiente (Hermosillo, 1995).

### **Externalidades**

Efectos que representan costos o beneficios no incorporados a los precios de mercado y que distorsionan las decisiones económicas (Octaviano, 2011).

### **GEI**

Un gas de efecto invernadero (GEI) es un gas atmosférico que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo. Los principales GEI en la atmósfera terrestre son el dióxido de carbono, el metano, el óxido de nitrógeno y el ozono (GEI México, 2012).

## **LCOE**

Indicador que permite comparar los costos unitarios de diferentes tecnologías de producción de energía a lo largo de la vida de un proyecto específico. Este método calcula los costos con base en la cantidad de electricidad neta provista a la red, generando un valor presente del costo de generación de energía por unidad de electricidad producida (KWh), es decir, la relación entre el total de gastos durante la vida útil del proyecto y el total de electricidad que se espera generar (IRENA, 2013).

## RESUMEN

El principal objetivo de esta investigación es ofrecer una estimación sobre el Costo Neto de Producción (CNP) de electricidad con fuentes renovables y de las gasolinas fósiles en México utilizando la metodología de Análisis Costo-Beneficio (ACB). Esta metodología es uno de los instrumentos económicos de mayor aceptación y una herramienta racional y sistemática que permite valorar en términos monetarios los impactos positivos y negativos de la producción de energía.

Los principales resultados obtenidos en la presente investigación, establecen que el CNP de la gasolina en una refinería nacional es mayor al de la energía eólica, geotérmica e hidráulica, y menor que el de la energía solar. Además, debido a que se importa más del 50% de las gasolinas, el costo para el Estado aumenta considerablemente. Esta situación coloca a la energía eléctrica producida con fuentes limpias como la mejor alternativa desde el punto de vista económico y ambiental, y se perfila como el sustituto energético en uso automotriz.

De las cuatro tipos de tecnologías analizadas para generar electricidad con fuentes renovables, la energía eólica fue la que mostró mayor viabilidad económica y ambiental debido a que tiene el valor más bajo en sus externalidades negativas, seguida de la energía hidráulica y geotérmica. Finalmente en cuarto sitio, con un considerable mayor valor de sus externalidades -sin que afecte su viabilidad ambiental- se sitúa la energía solar.

### Palabras clave

Costo beneficio, energías renovables, gasolinas, externalidades, políticas públicas, energía eléctrica.

### Abstract

The main objective of this research is to provide an estimate of the Net Cost of Production (NCP) of electricity with renewable sources and of fossil fuels in Mexico using the Cost-Benefit Analysis (CBA) methodology. This methodology is one of the

most widely accepted economic instruments and a rational and systematic tool for assessing the positive and negative impacts of energy production in monetary terms.

The main results obtained in the present investigation, establish that the NCP of gasoline in a national refinery is greater than that of wind, geothermal and hydraulic energy, and lower than that of solar energy. In addition, because more than 50% of the gasolines are imported, the cost to the State increases considerably. This situation places the electric energy produced with clean sources as the best alternative from the economic and environmental point of view, and is shaping up as the energetic substitute in automotive use.

Of the four types of technologies analyzed to generate electricity from renewable sources, wind energy was the one that showed the greatest economic and environmental viability because it has the lowest value in its negative externalities, followed by hydropower and geothermal energy. Finally in fourth place, with a considerable greater value of its externalities - without affecting its environmental viability - the solar energy is located.

### **Key words**

Cost benefit, renewable energy, gasoline, externalities, public policies, electricity.

## ÍNDICE

<b>Resumen</b> .....	8
<b>Introducción</b> .....	15
<b>Capítulo 1. Fundamentos de la investigación</b> .....	18
1.1 Planteamiento del problema.....	18
1.2 Descripción del problema.....	19
1.3 Pregunta de investigación.....	24
1.4 Objetivo general de investigación .....	24
1.5 Objetivo específico.....	25
1.6 Justificación.....	25
1.7 Horizonte temporal y espacial .....	26
1.8 Viabilidad de la investigación .....	26
1.9 Tipo de investigación.....	27
1.10 Hipótesis de investigación.....	27
1.11 Identificación de variables .....	27
1.12 Instrumentos cuantitativos.....	28
1.13 Universo y muestra .....	28
1.14 Alcances y limitaciones .....	28
<b>Capítulo 2. El modelo energético en México y las energías renovables en el mundo</b> .....	30
2.1 Energía en México .....	30
2.2 Retrospectiva nacional en la generación de electricidad.....	34
2.3 Tendencias internacionales: hacia la generación de energías limpias.....	36
<b>Capítulo 3. Marco teórico y referencial</b> .....	39
3.1 ¿Qué es la energía eléctrica y cómo se produce? .....	40
3.2 Las externalidades de la energía .....	42
3.3 Cálculo de las externalidades .....	45
3.4 La generación de electricidad con fuentes renovables .....	50
3.5 Las gasolinas fósiles .....	55
3.6 El proceso de producción de la gasolina.....	55
3.7 Externalidades de la gasolina .....	56
3.8 Indicadores de costos de producción de la energía .....	59
3.9 El valor de las externalidades .....	61
3.10 Las políticas públicas .....	66
3.11 Política energética.....	75

3.12 Política energética en México .....	79
<b>Capítulo 4. Revisión de la literatura empírica .....</b>	<b>92</b>
4.1 La competitividad económica y ambiental de las energías .....	92
<b>Capítulo 5. Análisis de la metodología .....</b>	<b>109</b>
5.1 Análisis Costo-Beneficio.....	109
5.2 Función del Costo de Producción .....	111
5.3 Función de viabilidad económica y ambiental .....	112
<b>Capítulo 6. Análisis y discusión de resultados .....</b>	<b>124</b>
6.1 Costo de producción de la energía eléctrica .....	124
6.2 Costo de producción de la energía eólica .....	128
6.3 Externalidades de las fuentes renovables por tecnología de generación .....	130
6.4 Cálculo de los beneficios ambientales de la producción de energía eléctrica con fuentes renovables.....	132
6.5 Resultados de la energía eólica .....	135
6.6 Análisis Costo-Beneficio.....	136
6.7 Resultados de la energía solar.....	141
6.8 Análisis Costo-Beneficio.....	144
6.9 Resultados de la energía hidráulica .....	148
6.10 Análisis Costo-Beneficio.....	152
6.11 Resultados de la energía geotérmica.....	156
6.12 Análisis Costo-Beneficio.....	160
6.13 Resultados de las gasolinas fósiles.....	164
6.14 Análisis Costo-Beneficio.....	169
6.15 Análisis Comparativo de la producción de electricidad con fuentes renovables y las gasolinas fósiles.....	173
<b>Capítulo 7. Conclusiones y recomendaciones de políticas públicas .....</b>	<b>177</b>
<b>Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>186</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>202</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

Figura 1.1 Estructura de emisiones de CO2 del consumo energético por sector....	24
Figura 2.1 Matriz eléctrica en México.....	31
Figura 2.2 Capacidad instalada para la generación de energía renovable en México .....	32
Figura 2.3 Centrales para la generación de electricidad con energías renovables	33
Figura 2.4 Crecimiento a nivel global de la capacidad instalada de las diferentes tecnologías de generación .....	37
Figura 3.1 Generación de energía eléctrica en México .....	40
Figura 3.2 Generación de energía eléctrica nacional según los insumos utilizado	41
Figura 3.3 Mercado del carbón en la Unión Europea.....	65
Figura 3.4 El proceso de las políticas públicas como insumos .....	69
Cuadro 4.1 Costos de generación y requerimientos de inversión .....	92
Cuadro 4.2 Costos de externalidad ambiental en la unión europea.....	93
Cuadro 4.3 Inversión para la generación de electricidad .....	94
Cuadro 4.4 Costo de inversión parque eólico .....	95
Cuadro 4.5 Análisis costo-beneficio de un parque eólico.....	97
Cuadro 4.6 Costo promedio por MWh generado con carbón .....	98
Cuadro 4.7 Ahorros como resultado del reciclaje de una tonelada de aluminio.....	99
Cuadro 4.8 Valores unitarios de externalidades del transporte.....	100
Cuadro 4.9 Capacidad instalada de energía eléctrica en México .....	100
Cuadro 4.10 Valores unitarios de los impactos ambientales por tipo de planta eléctrica.....	101
Cuadro 4.11 Ahorro de energía por reciclaje de aluminio en 1996 .....	102
Cuadro 4.12 Valor económico de la deforestación y componentes principales ....	103
Cuadro 4.13 Costos de producción del petróleo por país .....	104
Cuadro 4.14 Inversión realizada en México en las actividades petroleras.....	105
Cuadro 4.15 Inversión para la instalación de una refinería en Centroamérica.....	106
Cuadro 4.16 Costos de producción por tipo de combustible.....	107
Cuadro 4.17 Distribución porcentual de los precios de la gasolina en USA.....	107
Tabla 6.1 Categorías de costos para la generación de energía eléctrica.....	127
Tabla 6.2 Costo promedio de producción de la energía eólica en los países de América del Norte .....	129
Tabla 6.3 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables.....	132

Tabla 6.4 Precio de mercado de los Certificados de Reducción de Emisiones (CER)	134
Tabla 6.5 Valor promedio anual de los CER para cada tipo de tecnología analizada	135
Tabla 6.6 Análisis Costo Beneficio: Costo Neto de Producción de la energía eólica en México	136
Tabla 6.7 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica y ambiental de la energía eólica	139
Tabla 6.8 Costo promedio de generación de la energía solar fotovoltaica en México	142
Tabla 6.9 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables	143
Tabla 6.10 Beneficio económico por venta de CER por la generación de energía solar	143
Tabla 6.11 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto Producción de la energía solar en México	145
Tabla 6.12 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica de la energía solar	147
Tabla 6.13 Categorías de costos para la generación de energía eléctrica	149
Tabla 6.14 Costo promedio de producción de la energía en centrales hidroeléctricas (en red) en México	149
Tabla 6.15 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables	151
Tabla 6.16 Beneficio económico por venta de CER en la generación de energía hidroeléctrica	152
Tabla 6.17 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto de la Generación hidroeléctrica en México	153
Tabla 6.18 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica y ambiental de la energía hidráulica	155
Tabla 6.19 Categorías de costos para la generación de energía eléctrica	158
Tabla 6.20 Costo promedio de generación de la energía geotérmica en México	158
Tabla 6.21 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables	159
Tabla 6.22 Beneficio económico por venta de CER en la generación de energía geotérmica	160

Tabla 6.23 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto de Producción de la energía geotérmica en México .....	161
Tabla 6.24 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica energía hidráulica.....	163
Tabla 6.25 Categorías de costos para la construcción y funcionamiento de una refinería en México.....	166
Tabla 6.26 Inversión en refinación y producción de gasolina en México .....	166
Tabla 6.27 Costo de producción de la gasolina en México 2010-2015 .....	166
Tabla 6.28 Valor de las externalidades por construcción de infraestructura de refinación en México .....	168
Tabla 6.29 Valor de las externalidades de la refinación del petróleo en México ...	169
Tabla 6.30 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto Producción de las gasolinas fósiles en México.....	170
Tabla 6.31 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica de la producción de gasolina fósil en México.....	172
Tabla 6.32 Costo Neto de Producción de electricidad con fuentes renovables y de las gasolinas fósiles en México .....	174
Tabla 6.33 Comparativo de costos de producción de energía para un recorrido automotriz de 100 Kilómetros.....	175

## INTRODUCCIÓN

México enfrenta grandes desafíos en el sector energético. La importación de gasolina se ha convertido en un tema muy importante desde el punto de vista económico y de autosuficiencia energética. Al respecto, por su falta de capacidad de refinación, PEMEX importa más del 50% de la gasolina que comercializa, lo cual tiene repercusiones económicas negativas por los elevados precios de importación del petrolífero, además de resultar contradictorio puesto que México es uno de los once principales productores de petróleo a nivel mundial (PEMEX, 2016).

La tarea de satisfacer la creciente demanda de gasolinas para el uso automotriz, evitando la degradación de los ecosistemas y el agotamiento de los recursos no renovables del subsuelo, es una necesidad que globalmente se reconoce cada vez más por lo que se requiere de respuestas viables desde el punto de vista económico y medioambiental. En este sentido, existen energías alternativas que evitan la degradación de los ecosistemas y procesos naturales, sin embargo, éstas deberán ser evaluadas económicamente en cuanto a su costo de producción, para conocer si además de ser una mejor alternativa medioambiental son viables en términos financieros.

Si se pretende satisfacer la demanda de combustible automotriz a la vez que evitar la degradación ambiental y el agotamiento de los recursos no renovables con alguna de las energías alternativas conocidas, éstas deberán ser producidas de forma limpia y sustentable, de lo contrario no habría diferencia sustancial con el modelo energético que predomina en México. Tal es el caso de la electricidad generada por medios eólicos, geotérmicos, solares e hidráulicos, que hoy en día es utilizada en vehículos con motores eléctricos cuyo rendimiento ha ido mejorando con el paso del tiempo y los avances tecnológicos (Pereda, 2016).

En este sentido, el presente trabajo sostiene que el costo neto de producción de electricidad con fuentes renovables es menor que el de las gasolinas fósiles en México, y que la energía eléctrica representa una alternativa viable en el uso automotriz. Para comprobarlo, se utiliza la herramienta metodológica Análisis Costo-

Beneficio, la cual toma en cuenta factores económicos y ambientales, asignando a estos últimos, valores monetarios que son integrados a la estimación de un proyecto y son denominadas con el término externalidades.

Esta herramienta, entre otras bondades, facilita tomar decisiones para la implementación de políticas racionales que permitan la gestión eficiente de los recursos económicos y naturales (Molinos, 2013).

El presente trabajo se estructura de la siguiente manera: el primer capítulo presenta los fundamentos de la investigación, en él se describe el problema detectado, los alcances e instrumentos que se utilizarán para lograr los objetivos, se identifican las variables y la pregunta de investigación, además, se sientan las bases, hipótesis y objetivos de la tesis.

El segundo capítulo brinda un panorama general del modelo energético que predomina en México y en el mundo, así como una perspectiva sobre las diferentes fuentes de energía renovable. Se brinda una retrospectiva nacional en la generación de electricidad y las tendencias internacionales que van dirigidas hacia la generación de energías limpias.

En el tercer capítulo se encuentran contenidas las teorías más representativas relacionadas con las energías renovables, los combustibles fósiles, las externalidades, las políticas y las leyes por las que se transita actualmente en México en materia energética.

En el cuarto capítulo se encuentra la información empírica de investigaciones similares a la presente, lo cual nos permite conocer los parámetros e indicadores que se han adoptado para calcular los costos de la generación de energía en otras investigaciones.

En el sexto capítulo se realizará el Análisis Costo-Beneficio y el balance de costos económicos y ambientales que permita comprobar o rechazar la hipótesis de investigación por medio de funciones. Se desarrollarán las formulas expuestas en el capítulo de metodología para conocer el CNP de electricidad con fuentes renovables

y de las gasolinas fósiles en México, así como evaluar su viabilidad económica y ambiental.

Finalmente en el séptimo capítulo se darán las conclusiones y se describirán los resultados de la investigación, estableciendo cuál de las energías se propone como la mejor alternativa para sustituir a la gasolina en automotores. Además se indicará de acuerdo a los resultados obtenidos, si la hipótesis de investigación se acepta o se rechaza y se formularán propuestas de políticas públicas en función de la investigación.

## CAPÍTULO 1

### FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizará mediante un proceso sistemático, organizado y objetivo. Tendrá el propósito de aportar información útil para resolver un problema detectado en el sector energético nacional. Los datos obtenidos deberán responder a los objetivos y a la pregunta de investigación, además de servir para aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

#### 1.1. Planteamiento del problema

A pesar de ocupar el 10° lugar a nivel mundial en producción de petróleo México no tiene la capacidad de refinar el crudo necesario para cubrir la demanda interna de gasolina automotriz. En los últimos años ha tenido que importar un volumen superior a todo lo que producen sus seis refinerías en su conjunto lo que representa un gasto anual en importaciones mayor a 25 mil millones de dólares, lo anterior se debe fundamentalmente a la creciente demanda de gasolina automotriz en el país y a la obsolescencia y falta de capacidad instalada del Sistema Nacional de Refinerías (SNR) para producirla (PEMEX, 2014).

Las gasolinas fósiles tienen un elevado costo de importación pero también su costo de producción a nivel nacional es alto pues se debe contemplar el costo de exploración-producción y posteriormente el de refinación. Las gasolinas fósiles además de tratarse de un recurso no renovable, cuyo agotamiento podrá llegar en un futuro próximo debido a la múltiple explotación de petróleo del subsuelo Mexicano por parte de empresas trasnacionales que se prevé con la entrada en vigor de la reforma energética, su uso en vehículos automotores es la principal causa de alteraciones al medio ambiente por la emisión de Gases de Efecto Invernadero, los cuales son el principal motivo del calentamiento global y algunos daños a la salud (*Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks*, 2008).

## 1.2. Descripción del problema

A partir del año de 1989, el gasto en importación de gasolina en México se incrementó de manera exponencial; 1572.5 % con respecto a los años anteriores, pasando de 16,473 a 258,437 dólares (SENER, 2014).

La infraestructura de Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha permanecido sin inversión durante casi dos décadas frente a una demanda interna de gasolinas que aumenta a tasas cada vez más elevadas, razón por la cual, se han tenido que importar un volumen de gasolinas superior a todo lo que produce el país en sus seis refinerías. Desde el 2010, se han importado en promedio más de 400 mil barriles diarios de combustible lo que representa un gasto superior a los 48 millones de dólares por día (PEMEX, 2015) (SENER, 2015).

De acuerdo con información de PEMEX, en octubre de 2014 se tuvo un nivel de compras externas de combustible automotriz (en sus tipos magna y premium) que alcanzó los 419 mil barriles diarios por los cuales se pagaron 1,521 millones de dólares en ese mes. Cada barril de gasolina traído del exterior tuvo un precio promedio de 121 dólares (PEMEX, 2014). En ese mismo periodo, las refinerías lograron producir y colocar en el mercado interno 381 mil barriles diarios de gasolina, es decir, se produjeron en el país 38 mil barriles menos de los que se importaron en ese lapso (PEMEX, 2014).

Actualmente PEMEX importa casi 500 mil barriles diarios de combustibles, lo que representa más del 50% de las gasolinas que se consumen en el país, a un costo promedio de 136 dólares por barril arroja un gasto anual de casi 25 mil millones de dólares (SENER, 2015).

El costo máximo de producción de un barril de crudo es de \$23 dólares mientras que el costo de producción de un barril de gasolina en una refinería nacional es de aproximadamente \$54 dólares, aún sumados estos costos de extracción y de refinación, producir gasolina a nivel nacional es más barato que el precio de importación actual, el cual oscila entre los \$136 dólares por barril, por lo tanto,

importar un barril de gasolina cuesta aproximadamente \$59 dólares más que si es producida en el país (PEMEX Refinación, 2012).

Para México, las compras de gasolina en Estados Unidos representan el 77% de sus importaciones totales del combustible (Secretaría de Economía, 2014), en contraparte, del total de la gasolina que Estados Unidos exportó en el primer bimestre del 2012, México compró 60%, equivalente a 23.5 millones de barriles de combustible (U.S. *Energy Information Administration*, 2014), lo que pone en perspectiva lo importante que resulta México, como cliente, para la industria petroquímica estadounidense.

A pesar de la insuficiente capacidad de producción de gasolina y el gasto que implica la importación de éstas, PEMEX informa que no llevará a cabo trabajos de reconfiguración en las refinerías existentes que les permitan permanecer vigentes, rentables y auto suficientes para cubrir la demanda nacional de combustibles y para ajustarse a los nuevos requerimientos de refinación de aceites pesados predominantes en el subsuelo nacional (SENER, 2015).

Con la aprobación de la reforma energética ha llegado a su fin el modelo de "operador único" en el sector de los hidrocarburos en México para transitar a un modelo de "operador dominante", al estilo de Brasil. El artículo décimo cuarto transitorio de la legislación, según el dictamen de la Ley de Hidrocarburos establece que a partir del 1 de enero de 2018 los precios de la gasolina y el diesel en México se liberarán y se determinarán bajo condiciones de mercado, es decir que a partir de esta fecha, dejarán de operar exclusivamente las franquicias de PEMEX para la venta de gasolina al público como ocurre actualmente (SENER, 2015).

Lo anterior implica un reto para PEMEX en el sentido de mantener precios competitivos ya que el costo actual de la gasolina en algunas zonas de USA es 40% menor que en México.

## Reservas de hidrocarburos

El petróleo es un recurso no renovable por lo que es inevitable el fin de este recurso energético. La reforma energética es una agresiva estrategia de extracción y más empresas extraerán el crudo del subsuelo nacional, si bien aumentará la producción, habrá un acelerado agotamiento de las reservas probadas. Las reservas se definen como aquellas cantidades de hidrocarburos que se prevé serán recuperadas comercialmente de acumulaciones conocidas a una fecha dada. Todas las reservas estimadas involucran algún grado de incertidumbre. La incertidumbre depende principalmente de la cantidad y calidad de la información geológica, geofísica, petrofísica y de ingeniería, así como de su disponibilidad al tiempo de la estimación e interpretación de esta información. El nivel de incertidumbre puede ser usado para colocar reservas en una de dos clasificaciones principales: probadas, probables y posibles. Las cantidades recuperables estimadas de acumulaciones conocidas que no satisfagan los requerimientos de comercialización, deben clasificarse como recursos contingentes. Así, las reservas probadas de hidrocarburos son cantidades estimadas de aceite crudo, gas natural, y líquidos del gas natural, las cuales, mediante datos de geociencias y de ingeniería, demuestran con certidumbre razonable que serán recuperadas en años futuros de yacimientos conocidos bajo condiciones económicas y de operación existentes a una fecha específica. Las reservas probadas son las que aportan la producción y tienen mayor certidumbre que las probables y posibles, desde el punto de vista financiero, son las que sustentan los proyectos de inversión. Las reservas probadas de hidrocarburos de México se evaluaron de acuerdo con los criterios y definiciones de la *Securities and Exchange Commission* (SEC) de Estados Unidos, reportando reservas remanentes al 1 de enero de 2014, por 13 mil 438.5 millones de barriles de petróleo crudo equivalente lo cual representa 10 años de producción (PEMEX, 2015).

Las reservas probables son aquellas reservas no probadas en donde el análisis de la información geológica y de ingeniería del yacimiento sugiere que son más factibles de ser comercialmente recuperables que lo contrario. Si se emplean métodos probabilistas para su evaluación, existirá una probabilidad de al menos 50 por ciento

de que las cantidades a recuperar sean iguales o mayores que la suma de las reservas probadas más probables. Las reservas probables de hidrocarburos en Pemex, al primero de enero del 2014, ascienden a 11 mil 377.2 millones de barriles de petróleo crudo equivalente (PEMEX, 2015).

Las reservas posibles son aquellos volúmenes de hidrocarburos cuya información geológica y de ingeniería sugiere que es menos segura su recuperación comercial que las reservas probables. De acuerdo con esta definición, cuando son utilizados métodos probabilistas, la suma de las reservas probadas, probables más posibles tendrá al menos una probabilidad de 10 por ciento de que las cantidades realmente recuperadas sean iguales o mayores. Las reservas posibles de hidrocarburos en Pemex, al primero de enero del 2014, ascienden a 17 mil 342.7 millones de barriles de petróleo crudo equivalente (PEMEX, 2015).

### **Salud y medio ambiente**

De acuerdo con datos del Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA), del CTSEmbarq México y el Instituto Internacional de Transporte Limpio (ICCT, por sus siglas en inglés), los autos son la principal fuente de contaminación en México, lo que contribuye a la formación de ozono troposférico.

El ozono que se encuentra en la capa baja de la atmósfera donde habita el ser humano (tropósfera), es un contaminante secundario que se produce por la reacción de las emisiones de monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno, emisiones asociadas con graves enfermedades cardiopulmonares, afectaciones al sistema nervioso central, cáncer y problemas reproductivos, convirtiendo al fenómeno en un problema de salud pública (OMS, 2011).

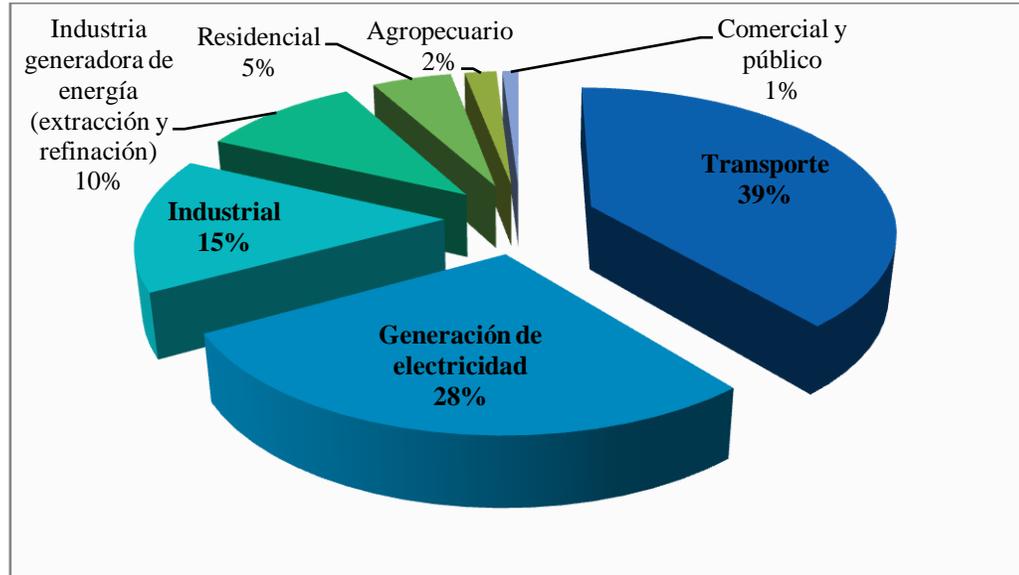
Las organizaciones antes mencionadas alertaron que la norma 042, que regula las emisiones contaminantes en México tiene casi cuatro años de retraso. Adicionalmente señalaron que no hay una política pública integral de combustibles y control de emisiones vehiculares.

Los gases de efecto invernadero absorben la luz infrarroja que de otro modo atravesaría la atmósfera en su camino hacia el espacio exterior. Al almacenar la energía de la luz en la atmósfera, los gases de invernadero calientan el planeta de manera considerable causando desorden ambiental (tormentas, huracanes, deshielo etc.) y daños a la salud como disminución del flujo de aire en las vías respiratorias, irritación de las mucosas oculares, deficiencia de la función pulmonar, aumento de la frecuencia cardíaca y severidad de las crisis asmáticas entre otras (OMS, 2000).

El CO<sub>2</sub> es un gas de efecto invernadero (GEI) que se encuentra naturalmente en la atmósfera, sin embargo, las actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, cambio de uso de suelo, deforestación, entre otros, aumentan significativamente su concentración en la atmósfera contribuyendo al calentamiento global. El consumo de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de GEI por actividades humanas. A nivel mundial el sector energético contribuye con el 64% de las emisiones de GEI, y con el 84% de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Atlas Mexicano de almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>, 2015).

De acuerdo con la Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) presentada por México, en nuestro país la producción de combustibles fósiles, y sobre todo su uso, generan poco más del 60% del total de emisiones de GEI y 75% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El CO<sub>2</sub> liberado a la atmósfera por el consumo de energía proviene de todo tipo de actividades económicas, incluidos el transporte, el sector agropecuario, el comercio, el consumo del sector público y el doméstico, las actividades de generación de electricidad, de extracción de hidrocarburos, de refinación y otras actividades industriales. En 2010, el total de emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo energético fue de 407.3 Mega toneladas, destacando el transporte con 39%, las fuentes estacionarias como la generación de electricidad que contribuyó con 28%, la industria generadora de energía (extracción y refinación) con 10%, y el resto de la industria con el 15%, como se muestra en la figura 1.1 (Atlas Mexicano de almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>).

Figura 1.1 Estructura de emisiones de CO<sub>2</sub> del consumo energético por sector 2010

Fuente: elaboración propia con datos del Atlas Mexicano de almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>

### 1.3. Pregunta de investigación

¿Cuál es el costo neto de producción de electricidad con fuentes renovables y de las gasolinas fósiles en México 2016?

El presente trabajo se enfocará en los costos y los beneficios de la producción de gasolina Magna y Premium, pues son los dos tipos de gasolinas que se producen en México, siendo la Magna la de mayor producción y consumo. El diesel no se analiza toda vez que por definición no se trata de una gasolina, se trata de un hidrocarburo denominado también gasóleo compuesto fundamentalmente por parafinas (PEMEX, 2015).

### 1.4. Objetivo general de investigación

Calcular el Costo Neto de Producción de electricidad con fuentes renovables y de las gasolinas fósiles en México 2016.

### **1.5. Objetivo específico**

1.- Evaluar la viabilidad económica y ambiental de la Producción de electricidad con fuentes renovables y de las gasolinas fósiles en México 2016.

### **1.6. Justificación**

Es necesario señalar que la presente investigación puede resultar una herramienta acorde con las disposiciones de la reciente Ley de Transición Energética que tiene por objeto regular el aprovechamiento sustentable de la energía así como las obligaciones en materia de energías limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica, además de coincidente con la Ley General de Cambio Climático, que busca la protección al ambiente, el desarrollo sustentable, la preservación y restauración del equilibrio ecológico. Se trata de un problema de orden público puesto que la energía y el medio ambiente afecta, negativa o positivamente, a un gran número de personas en México y porque se ha identificado que los asuntos energéticos y ambientales están colocados en la agenda de la política pública en México, por lo que son estudiados, explorados, organizados y normados por documentos y leyes de la Administración Pública Federal como los antes mencionados.

El análisis Costo-Beneficio es necesario para estimar los proyectos teniendo en cuenta aspectos de tipo económico, medioambiental y social que no son considerados en las valoraciones puramente financieras. La presente investigación se justifica debido a que no se cuenta con estudios en México que permitan conocer el Costo Neto de Producción (valorando las externalidades) y la viabilidad económico-ambiental de la energía eléctrica con fuentes renovables y las gasolinas fósiles.

Este trabajo es conveniente debido a que contribuye al conocimiento de Costo-Beneficio sobre los proyectos de energías renovables y de combustibles fósiles en México. Socialmente resulta trascendente debido a la gran importancia del sector energético sobre el medio ambiente y sobre la sociedad en general.

La generación y uso de energías renovables, pueden representar una alternativa viable, lo cual tiene importantes repercusiones que no se limitan a lo regional, puesto que en materia de políticas a nivel global se han generado cuerdos internacionales en los que México participa. Tal es el caso del Protocolo de Kioto en el marco de la convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el cual, tiene como objetivo concluir un acuerdo mundial sobre los métodos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, acuerdo que cabe mencionar llegará a ser jurídicamente vinculante, lo cual le da un carácter de obligatorio para no recurrir en sanciones.

El sector energético es estratégico para el Estado, de tal manera que la propuesta de una política pública adecuada, resultado de la presente investigación, puede generar consensos en los tomadores de decisiones y dar una pequeña aportación que ayude a resolver un problema real.

Los datos del presente trabajo se tomarán de fuentes secundarias oficiales, y una vez que éstos hayan sido estructurados, permitirán conocer el comportamiento de las variables de forma confiable, reforzando el estudio de los fenómenos en las investigaciones que preceden a ésta. Al realizar la presente investigación surgirán nuevas ideas para futuras investigaciones que permitan clarificar las hipótesis que surgen con la continua evolución del sector energético, el cual se encuentra en una etapa de transición importante.

### **1.7. Horizonte temporal y espacial**

El presente es un trabajo de investigación utilizará la información más actual disponible, sobre la generación de las energías renovables y las gasolinas fósiles en México en el presente año 2016.

### **1.8. Viabilidad de la investigación**

La presente investigación resulta factible porque es un tema de actualidad en el contexto económico, ambiental y social en México, es viable porque existe la

suficiente información y bases de datos para consultar, analizar, examinar y comparar los temas que serán objeto de estudio.

Es importante señalar que se cuentan con los recursos materiales y tecnológicos necesarios para poder llevar a cabo la investigación en sus distintos escenarios y en sus diversos planos.

### **1.9. Tipo de investigación**

En el presente trabajo de investigación se utilizará el Método Científico, con la particularidad de ser hipotético-deductivo, ya que se deducirán las consecuencias de la hipótesis que se ha formulado, la cual se deriva de plantear un problema de estudio delimitado y concreto sobre un asunto específico (Kerlinger y Lee, 2002).

El objetivo de usar el Método Científico es llevar a cabo un conjunto de pasos para generar conocimiento objetivo, avalado por una serie de reglas rigurosas que no den lugar a dudas de que ese conocimiento se puede justificar teórica y empíricamente, es decir, que el conocimiento es verdadero (Navarro, 2007). Tomando como base la revisión de la literatura relacionada con el presente trabajo, se ha construido un marco teórico y referencial. Además se ha precisado una hipótesis de investigación, la cual se someterá a prueba para corroborarla o rechazarla. Para obtener tales resultados se recolectarán datos numéricos de las variables provenientes de fuentes secundarias. Los datos no numéricos se transformarán a numéricos, lo cual le da a esta investigación carácter mixto (Hernández et al., 1998).

### **1.10. Hipótesis de investigación**

*Hi:* El Costo Neto de Producción de la electricidad con fuentes renovables es menor que el de las gasolinas fósiles en México en 2016.

### **1.11. Identificación de variables**

Se debe señalar que la variable dependiente será el resultado del manejo aritmético de las variables independientes indicadas.

### **Variable dependiente**

**Y:** Costo Neto de Producción de electricidad con fuentes renovables y de gasolinas fósiles.

### **Variables independientes**

**X<sub>1</sub>:** Costo de producción de la energía

**X<sub>2</sub>:** Valor de las externalidades

### **1.12. Instrumentos cuantitativos**

Para la presente investigación serán utilizadas herramientas cuantitativas como el análisis y uso de datos estadísticos de las variables por medio de fuentes secundarias, el cálculo aritmético de las variables independientes indicadas, así como el manejo numérico para conocer el balance de las energías objeto de investigación. Se utilizará la metodología de Análisis Costo-Beneficio la cual es una herramienta que cuantifica las externalidades medioambientales que usualmente no son consideradas en las valoraciones exclusivamente financieras. Además, se hará uso de instrumentos de consulta bibliográfica de naturaleza científica tales como artículos, revistas, libros, ponencias, tesis y otros documentos relacionados con el tema.

### **1.13. Universo y muestra de estudio**

El universo y la muestra están dados por el costo actual que tiene la generación de electricidad por fuentes renovables y la producción de gasolina por fuentes fósiles en territorio nacional.

### **1.14. Alcances y limitaciones**

**Alcances:** Por la naturaleza y el nivel de conocimiento de los datos existentes y analizados en la presente investigación, se trata de un trabajo con alcance comparativo-descriptivo. Se podrá comparar los costos económicos de la generación de electricidad por fuentes renovables y de las gasolinas fósiles en México y se investigará el impacto y el costo ambiental de las tecnologías de generación y

producción respectivamente. Además, se estimarán los beneficios ambientales (medidos de forma económica) que ambas tecnologías pueden traer consigo.

**Limitaciones:** La presente investigación se verá limitada por la información gubernamental sobre el sector energético en general, pero sobre todo, por el petroquímico para los costos de producción de gasolina, además, se limita el presente estudio por la dificultad de acceso a la información de la SHCP sobre los datos económicos de interés, y el limitado periodo con el que se cuenta para el este trabajo de investigación.

## CAPÍTULO 2

### EL MODELO ENERGÉTICO EN MÉXICO Y LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO

México al igual que la mayoría de los países del mundo tiene una fuerte dependencia energética hacia los combustibles fósiles, es uno de los principales países productores de petróleo a nivel global y se ha convertido en un importante exportador de esta materia prima que se utiliza principalmente para la producción de gasolina automotriz y otros derivados del petróleo.

#### 2.1. Energía en México

Al día de hoy, los hidrocarburos son la principal fuente de energía primaria en el país, aportan más de 90% a su matriz generadora y se divide en 71.4% de petróleo, 19.2% gas y 1.9% carbón, mientras que la capacidad de generación eléctrica estuvo conformada en 66.8% por fuentes no renovables y 33.2% por fuentes renovables (INEGI, 2010).

A nivel nacional un alto porcentaje de los hidrocarburos son utilizados en el transporte automotriz, esto se logra una vez que el crudo ha sido refinado y transformado en gasolina. Cada habitante en México consume en promedio 397 litros de gasolina al año, nivel muy superior al de algunos países industrializados, lo cual es preocupante debido al nivel de contaminantes emitidos a la atmósfera que se generan en el país debido a la combustión automotriz. El consumo per cápita es mayor en 22% que en Alemania, 71% que en Italia, 103% que en Chile, 141% que en España y Francia, 192% que en Argentina, 242% al de Brasil y 567% que el de China (Cámara de Diputados, LXII Legislatura).

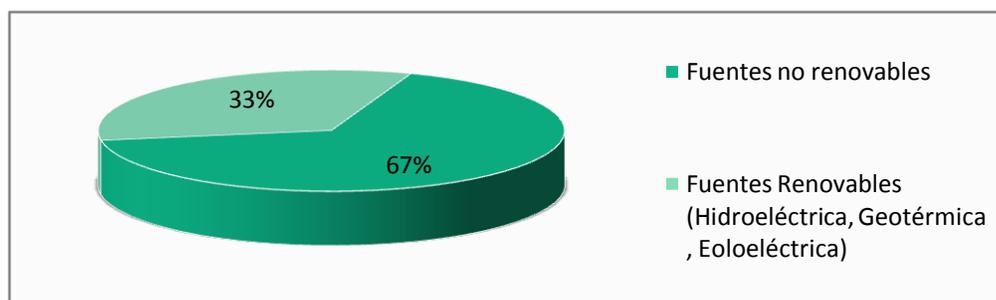
A pesar de que las tecnologías de autos 100% eléctricos de las marcas Nissan y Renault ya se ofertan en el mercado nacional con sus modelos Leaf y Twizy respectivamente, su demanda es muy baja por varios factores, por lo que no se prevé un escenario en el cual el consumo de gasolina para el uso automotriz pueda disminuir a causa de estas nuevas tecnologías que utilizan energía eléctrica, en el

corto y mediano plazo, por lo que el consumo de energía convencional no sufrirá cambios en los próximos años.

En este sentido, la Secretaría de Energía (2012), indica que de 2002 a 2012, la tasa de crecimiento promedio anual del consumo de energía en México fue de 2% y las emisiones por consumo de combustibles crecieron 2.7% en promedio anual, ante este panorama y dada la fuerte dependencia de los combustibles fósiles en el país, dicha proporción se ha mantenido relativamente constante. Respecto del consumo energético, el transporte es el sector con uso más intensivo, al requerir 46.6% de la oferta total, le sigue el industrial con 31.2%, el residencial con 15.7%, el agropecuario con 3.3%, el comercial con 2.6%, y el público, con 0.6%. En este contexto, las gasolinas y naftas mostraron la mayor demanda asociada con el consumo del sector transporte mientras que la electricidad representó el segundo mayor consumo con 17.2%, seguida del diesel con 12.6% y el gas seco con 12.2%.

México posee una ubicación privilegiada que le permite la explotación de recursos hídricos eólicos y solares para la generación de electricidad. Desde los comienzos de la producción de electricidad en el país, se aprovechó la abundante presencia de cuencas hídricas y el pronunciado relieve nacional, ambas condiciones son ideales para el aprovechamiento de éste recurso, desafortunadamente, el potencial eólico y solar aún no ha tenido el mismo desarrollo. En este sentido, la matriz eléctrica mexicana refleja la poca utilización de fuentes renovables y presenta una composición en la que predomina la generación a partir de fuentes no renovables con una producción del 67% y sólo un 33% para las fuentes limpias (SENER, 2012).

Figura 2.1 Matriz eléctrica en México (2012)



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2010

En 2012 la capacidad instalada para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables en México fue de 14,501 MW (figura 2.2), de los cuales, el 86% son para servicio público y el 14% para permisionarios y se estima que para 2026, se alcanzará una capacidad total instalada superior a 30,000 MW para la generación de electricidad a partir de energías renovables.

Figura 2.2 Capacidad instalada para la generación de energía renovable en México

TIPO DE ENERGÍA RENOVABLE	CAPACIDAD INSTALADA EN OPERACIÓN (MW)
EÓLICA	1,289
GEOTÉRMICA	823
HIDRÁULICA	11,707
SOLAR FOTOVOLTAICA	37
BIOMASA	645
<b>TOTAL</b>	<b>14,501</b>

Fuente: Comisión Federal de Electricidad (CFE); Comisión Reguladora de Energía (CRE).

En el periodo 2012-2026, se prevé un incremento de 20,544 MW en la capacidad instalada existente, liderado por las energías eólica e hidráulica con una participación de 59% y 28% respectivamente. Este pronóstico incluye las modalidades de servicio público, autoabastecimiento y generación distribuida (SENER, 2012).

Tomando en cuenta las centrales en operación y en construcción, México tiene 253 centrales para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables con una capacidad de 6,052 MW, destacando los estados de Oaxaca, Baja California, Tamaulipas y Veracruz que concentran cerca del 75%. Es importante mencionar que los proyectos de energías renovables tienen presencia en el 90% de las entidades federativas del país, destacando Oaxaca y Veracruz como los estados con mayor número de proyectos eólicos y de bioenergía respectivamente (CFE, 2012).

Figura 2.3 Centrales para la generación de electricidad con energías renovables 2012

ESTADO DE LA REPÚBLICA	BIOENERGÍA (MW)	EÓLICA (MW)	GEOTÉRMICA (MW)	HIDRÁULICA (MW)	SOLAR (MW)	TOTAL (MW)
OAXACA	33	2,499			39	2,571
BAJA CALIFORNIA		258	645	24	5	932
TAMAULIPAS	13	437				450
VERACRUZ	270	40		124		434
NUEVO LEÓN	28	274				302
SAN LUIS POTOSÍ	81	200			1	282
MICHOACÁN	15		192	4		210
JALISCO	61			58	30	149
CHIAPAS	25	39		60		124
PUEBLA	15		52	39		106
OTROS ESTADOS	205	2	10	118	156	492
<b>TOTAL</b>	<b>745</b>	<b>3,749</b>	<b>898</b>	<b>467</b>	<b>192</b>	<b>6,052</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de CRE / CFE.

Dentro del mercado de la energía, existen varias empresas trasnacionales dedicadas a la generación, distribución y comercialización de electricidad y gas natural. En México la empresa española IBERDROLA es el principal productor privado en generación eléctrica, a través de tecnología eólica, nuclear y de ciclo combinado cuya producción en 2010 alcanzó cerca de 5,000 MW de capacidad instalada en el país. Otra empresa fuerte que se dedica a la generación y distribución de energía eléctrica en México es la francesa *Energies Nouvelles*, que desarrolló el proyecto “La Mata-La Ventosa” con una capacidad de 67.5 MW de capacidad instalada en Oaxaca, dichas empresas se convierten en permisionarios y una vez que generan la

energía eléctrica la venden al Estado para que éste a su vez la distribuya (Comisión Federal de Electricidad/Comisión Reguladora de Energía, 2012).

## 2.2. Retrospectiva nacional en la generación de electricidad

El presente trabajo plantea que la electricidad generada con fuentes renovables puede sustituir el uso de gasolinas fósiles en vehículos automotores con la tecnología de carga eléctrica, por lo cual es de suma importancia conocer la historia y la actualidad de la generación de energía eléctrica en México.

La generación de energía eléctrica inició en México a fines del siglo XIX. La primera planta generadora que se instaló en el país (1879) estuvo en León, Guanajuato, y era utilizada por la industria textil. Casi inmediatamente se extendió esta forma de generar electricidad dentro de la producción minera y, marginalmente, para la iluminación residencial y pública. En 1889 operaba la primera planta hidroeléctrica en Batopilas (Chihuahua) y extendió sus redes de distribución hacia mercados urbanos y comerciales donde la población era de mayor capacidad económica. Durante el régimen de Porfirio Díaz se otorgó al sector eléctrico el carácter de servicio público, colocándose las primeras 40 lámparas de arco en algunas calles de la Ciudad de México (CFE, 2014).

Algunas compañías internacionales con gran capacidad crearon filiales, como *The Mexican Light and Power Company* de origen canadiense, en el centro del país, el consorcio *The American and Foreign Power Company* con tres sistemas interconectados en el norte de México, y la Compañía Eléctrica de Chapala, en el occidente. A inicios del siglo XX México contaba con una capacidad de 31 MW, propiedad de empresas privadas. Para 1910 eran 50 MW, de los cuales 80% los generaba *The Mexican Light and Power Company* con el primer gran proyecto hidroeléctrico en Puebla, las tres compañías eléctricas tenían las concesiones a nivel regional. En ese período se dio el primer esfuerzo para ordenar la industria eléctrica propia con la creación de la Comisión Nacional para el Fomento y Control de la Industria de Generación y Fuerza, conocida posteriormente como Comisión Nacional de Fuerza Motriz. Fue el 2 de diciembre de 1933 cuando se decretó que la

generación y distribución de electricidad son actividades de utilidad pública y para 1937, año en que México tenía 18.3 millones de habitantes, los servicios eléctricos se expandían, pues siete millones contaban ya con electricidad proporcionada con serias dificultades por tres empresas privadas (CFE, 2014).

En ese momento las interrupciones de luz eran constantes y las tarifas muy elevadas, debido a que esas empresas se enfocaban a los mercados urbanos más redituables sin contemplar a las poblaciones rurales, donde habitaba más de 62% de la población. La capacidad instalada de generación eléctrica en el país era de 629 MW. Para dar respuesta a esa situación que no permitía el desarrollo del país, el gobierno federal creó, el 14 de agosto de 1937, la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que tendría por objeto organizar y dirigir un sistema nacional de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, basado en principios técnicos y económicos, sin propósitos de lucro, a un costo mínimo, y con el mayor rendimiento posible en beneficio de los intereses generales (Ley promulgada en la Ciudad de Mérida, Yucatán el 14 de agosto de 1937 y publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de agosto de 1937). Así la CFE comenzó a construir plantas generadoras y amplias redes de transmisión y distribución (CFE, 2014).

Los primeros proyectos de generación de energía eléctrica de CFE se realizaron en Teloloapan (Guerrero), Pátzcuaro (Michoacán), Suchiate y Xíia (Oaxaca), Ures y Altar (Sonora) y el primer gran proyecto hidroeléctrico se inició en 1938 con la construcción de los canales, caminos y carreteras de lo que después se convirtió en el Sistema Hidroeléctrico Ixtapantongo en el Estado de México. En 1938 CFE tenía apenas una capacidad de 64 KW, misma que en ocho años, aumentó hasta alcanzar 45,594 KW. Entonces, las compañías privadas dejaron de invertir y CFE se vio obligada a generar energía para que éstas la distribuyeran en sus redes mediante la reventa. Para 1960 la CFE aportaba ya el 54% de los 2,308 MW de capacidad instalada, la empresa *Mexican Light* el 25%, *American and Foreign* el 12%, y el resto de las compañías 9%. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos de generación y electrificación, para esas fechas solo el 44% de la población contaba con

electricidad, y fue en ese mismo año que el presidente Adolfo López Mateos decidió nacionalizar la industria eléctrica (CFE, 2014).

A partir de entonces se comenzó a integrar el Sistema Eléctrico Nacional, extendiendo la cobertura del suministro y acelerando la industrialización. El Estado mexicano adquirió los bienes e instalaciones de las compañías privadas, las cuales operaban con deficiencias argumentando falta de inversión y problemas laborales. En 1961 la capacidad total instalada en el país ascendía a 3,250 MW, y en esa década, la inversión pública se destinó en más de 50% a obras de infraestructura, construyendo importantes centros generadores, entre ellos los de Infiernillo y Temascal, y se instalaron otras plantas generadoras alcanzando en 1971 una capacidad instalada de 7,874 MW. Al finalizar la década de 1960, se superó el reto de sostener el ritmo de crecimiento al instalarse, entre 1970 y 1980, centrales generadoras que dieron una capacidad de 17,360 MW. En la década de 1980 el crecimiento de la infraestructura eléctrica fue menor que en la anterior, principalmente por la disminución en la asignación de recursos a la CFE, no obstante, en 1991 la capacidad instalada ascendió a 26,797 MW. Finalmente, a inicios del año 2000 se tenía ya una capacidad instalada de generación de 35,385 MW, una cobertura del servicio eléctrico del 94.70% a nivel nacional, una red de transmisión y distribución de 614,653 Km, y más de 18.6 millones de usuarios

### **2.3. Tendencias internacionales: hacia la generación de energías limpias**

A nivel mundial todas las energías generadas por fuentes renovables han presentado un crecimiento durante los últimos años, entre 1973 y 2010 la producción neta de electricidad mundial paso de 6.139 TWh a 25.283 TWh, lo que representa un crecimiento anual promedio de 3.4%. Para el último año del periodo mencionado, el 67.2% de la electricidad fue generada a partir de combustibles fósiles, 16.3% a partir de plantas hidroeléctricas, 12.8% de plantas nucleares, 1.6% de biomasa y residuos y el restante 2.1% de otras fuentes renovables (IEA, 2013).

De acuerdo con el *Renewables Global Status Report* (RGSR, 2013), las tecnologías que han presentado un mayor crecimiento de capacidad instalada del año 2011 al

2012 son las de energía solar de alta concentración y la solar fotovoltaica, impulsadas por una baja sustancial en los costos de producción de las mismas. Le sigue la energía eólica que presenta un aumento de 18.9% en el mismo periodo.

Por otra parte, con un crecimiento de 3.1%, se observa que la generación hidroeléctrica tiene un crecimiento relativamente bajo, esto se debe a que aumentar su capacidad instalada en porcentajes considerables representa grandes esfuerzos económicos. La energía geotérmica no es una tecnología que tenga un crecimiento dinámico debido a las limitaciones geográficas de los yacimientos geotérmicos sumado a que generalmente se encuentran en zonas de alto riesgo sísmico y geológico (RGSR, 2013). Lo anterior se puede observar en la figura 2.4.

Figura 2.4 Crecimiento a nivel global de la capacidad instalada de las diferentes tecnologías de generación

TIPO DE ENERGÍA	CAPACIDAD INSTALADA EN OPERACIÓN (GW)	CRECIMIENTO EN LA CAPACIDAD INSTALADA 2011-2012
EÓLICA	283.0	18.9%
GEOTÉRMICA	11.7	2.6%
HIDRÁULICA	990.0	3.1%
SOLAR FOTOVOLTÁICA	103.0	40.8%
<b>TOTAL</b>	<b>1387.7</b>	

Fuente: elaboración propia con datos de *Renewables Global Status Report* (RGSR, 2013)

Algunos de los factores que han impulsado esta industria, en especial en los nichos de energía eólica y solar, han sido el avance tecnológico, la disminución de costos en los equipos y la promoción de los gobiernos para el desarrollo sustentable (SENER, 2012).

En el año 2012, los países con mayor capacidad instalada de energías renovables fueron China, con un 22%, seguido de Estados Unidos con el 11% y Brasil con 7%. Estos países son los principales generadores de electricidad por medio de fuentes renovables (RGSR, 2013/ US EIA, 2012). Para 2035, se pronostica que la capacidad instalada de la generación de electricidad con fuentes renovables será de 3,437 GW,

lo que representará el 40% del total del sistema eléctrico mundial, la energía hidráulica y la eólica serán las principales fuentes (RGSR, 2013).

Las regiones líderes en el consumo de Energías Renovables son Asia-Pacífico, Norteamérica y Europa y de acuerdo a la IEA (2013), se pronostica que la demanda de energía basada en fuentes renovables crecerá significativamente en la próxima década. Se prevé que la Unión Europea y China demanden en conjunto el 26% del uso de energías renovables en 2035, debido a que la Unión Europea ha establecido un objetivo denominado 20-20, que consiste en reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en 20% para el año 2020 y aumentar el consumo de energías renovables en la misma proporción. Estados Unidos, por su parte para el 2035, cubrirá el 13% del total de la demanda de energías renovables, impulsado por políticas e incentivos para uso de electricidad proveniente de tecnologías limpias y a la producción de biocombustibles (*World Energy Outlook*, 2012).

Como se había mencionado anteriormente, se espera que el sector de energías renovables siga creciendo en los próximos años, especialmente la industria de equipo solar y eólico debido a que las tecnologías para la generación de energía con estas fuentes seguirán presentando una disminución en los costos de producción que obedece al aceleramiento del progreso tecnológico y al crecimiento en la manufactura de equipo. En este sentido, la Secretaría de Energía estima que el costo de las tecnologías para la generación de energía renovable se reducirá de acuerdo a la curva de aprendizaje de las mismas. Un ritmo de aprendizaje del 5% implica que el costo de inversión esperado de una tecnología caiga 5% por cada duplicación de la capacidad instalada acumulada, cabe señalar que la tecnología que presenta el mayor índice de aprendizaje es la energía solar fotovoltaica con 17% por lo que se espera que sus costos disminuyan de manera dinámica. En este sentido, algunos gobiernos de países emergentes como México han ido incrementando la inversión que promueva la investigación y el desarrollo, sin embargo resulta insuficiente si se compara con el financiamiento de países como Estados Unidos, China, Brasil, España y Alemania, que desarrollan tecnología de vanguardia y producen una gran cantidad de electricidad con fuentes renovables (RGSR, 2013).

## CAPÍTULO 3

### MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

Es indudable que existe una estrecha relación entre el progreso económico de los pueblos y el tipo de energía que generan. Durante muchos años y aproximadamente hasta inicios del siglo XVIII, la economía de los pueblos se fundamentó en la agricultura y en la energía que procedía de la fuerza motriz procedente del viento, del agua y del vapor. De acuerdo con estos antecedentes, las energías renovables han sido pilar para el desarrollo humano, han formado parte de su economía y de las actividades cotidianas de los pueblos desde épocas antiguas. Fue a partir de la segunda mitad del siglo XVIII, durante la revolución industrial, que las energías citadas fueron remplazadas por combustibles tales como el carbón mineral, el gas natural y la gasolina (Sáenz, 2007).

México ha cambiado sus fuentes de energía con el objetivo de mejorar su eficiencia, algunas han dejado de aplicarse, pero otras han permanecido como parte de la matriz energética nacional. En 1850 entró en plenitud la matriz energética, definida como la representación cuantitativa de toda la energía disponible en un determinado territorio para ser utilizada en los diversos procesos productivos. Este concepto, es fundamental para orientar la planificación del sector energético con el fin de garantizar la producción, la seguridad energética y el uso adecuado de la energía disponible (Palacios, 2007).

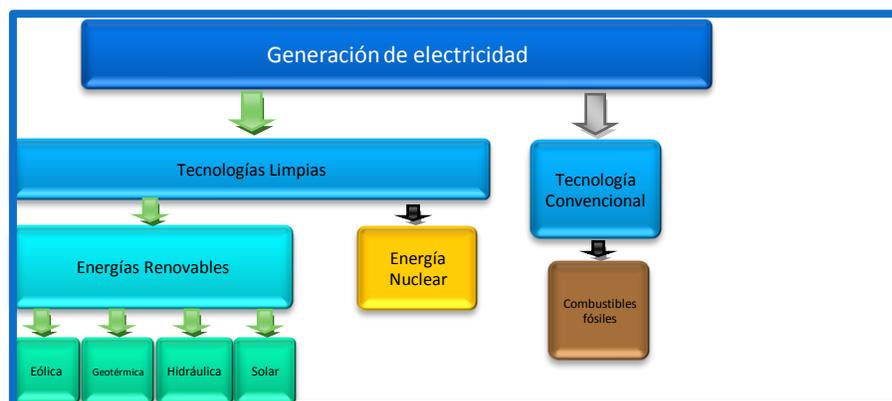
En este sentido existen varios tipos de energía, por ejemplo la energía, la nuclear o la cinética, pero una de las más utilizadas es la energía eléctrica, pues tiene múltiples usos y puede transformarse en muchas otras formas de energía, tales como la energía lumínica y la energía térmica. La energía eléctrica resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo cual permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico (Meléndez, 2007).

### 3.1. ¿Qué es la energía eléctrica y cómo se produce?

La energía eléctrica existe libre en la naturaleza, el ejemplo más relevante y habitual de esta manifestación son las tormentas eléctricas. Sin embargo difícilmente es aprovechable por los medios naturales expuestos, por lo que se debe generar o producir por medio de diferentes tipos de tecnologías. La actividad de generación consiste en transformar, mediante una tecnología concreta, una energía primaria (nuclear, térmica, hidráulica, eólica, solar, etc.) en energía eléctrica. Las que suministran las mayores cantidades y potencias de electricidad aprovechan un movimiento rotatorio para generar corriente continua en una dinamo o corriente alterna en un alternador. El movimiento rotatorio resulta a su vez de una fuente de energía mecánica directa, como puede ser la corriente de un salto de agua o la producida por el viento, o de un ciclo termodinámico. En este último caso se calienta un fluido, al que se hace recorrer un circuito en el que mueve un motor o una turbina. El calor de este proceso se obtiene mediante la quema de combustibles fósiles, reacciones nucleares y otros procesos (Enríquez, 2009).

Es necesario mencionar que en el mundo la energía eléctrica se genera principalmente a partir de combustibles fósiles y México no es la excepción. El mayor porcentaje de energía eléctrica nacional se produce por medio de combustibles fósiles (tal como se muestra en la figura 3.1) y ésta se obtiene en plantas generadoras de diferentes tipos según los insumos que se utilizan para producirla, lo cual se puede observar en la figura 3.2.

Figura 3.1 Generación de energía eléctrica en México



Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía, 2013

Figura 3.2 Generación de energía eléctrica nacional según los insumos utilizados

TIPO DE PLANTA GENERADORA	INSUMOS QUE UTILIZA	NÚMERO DE PLANTAS EN MÉXICO	PARTICIPACIÓN EN LA PRODUCCIÓN NACIONAL
Hidroeléctricas	Fuerza del agua	12	30.4%
Termoeléctrica	Combustión de hidrocarburos (petróleo, gas, diesel)	22	55.8%
Carboeléctrica	Combustión de carbón mineral	2	7.2%
Nucleoeléctrica	Uranio (material radioactivo)	1	3.8%
Geotérmica	Vapor del subsuelo	2	2.6%
Eoloeléctrica	Fuerza del viento	2	0.2%

Fuente: elaboración propia con datos del INEGI, 2010

Cada tecnología de generación tiene su propia estructura de costos, características técnicas, ventajas, desventajas, beneficios y perjuicios, y es necesario mencionar que la mayoría de las formas de utilización de las fuentes de energía-tanto las habituales como las denominadas alternativas o limpias- agreden en mayor o menor medida el ambiente, sin embargo, las convencionales que generan electricidad por medio de la utilización de combustibles fósiles son especialmente dañinas, causando impactos locales y regionales, afectaciones al medio ambiente y a la salud, contaminación de áreas urbanas y rurales, lluvia o deposición ácida e impactos globales como el cambio climático. Estos efectos nocivos que se dan y que están relacionados con el concepto de calidad medioambiental, están fuertemente vinculados al de costos y beneficios indirectos paralelos a un proyecto de generación de energía eléctrica y son conocidos como externalidades (Kox, 1973).

### 3.2. Las externalidades de la energía

Con respecto a las externalidades, Octaviano (2011), precisa que las externalidades representan costos y beneficios no incorporados a los precios de mercado que distorsionan las decisiones económicas sobre un proyecto específico.

Turtós (2003), señala que los costos externos o externalidades -también llamados costos ambientales- incluyen aquellos costos y beneficios que resulten de las actividades productivas, de distribución y de consumo, pero que no se consideran en los costos privados de estas actividades. Esos costos son soportados por la sociedad en general o por individuos que no necesariamente son los usuarios de la producción. Las externalidades están normalmente asociadas con impactos en la salud, medioambientales y estéticos debido a las emisiones a la atmósfera, contaminación de las aguas, deposición de desechos y cambios en los usos de la tierra.

La autora indica, de manera muy sencilla pero clara, que estimar las externalidades significa: 1) cuantificar los Impactos y 2) estimar costos. Lo anterior con el objetivo de sustituir subjetividades por cálculo científico y así lograr planificación energética, promoción de fuentes de energía renovables, análisis comparativos de opciones y estrategias de desarrollo, costos efectivos de esquemas de mitigación ambiental como la factibilidad de instalación de tecnologías de reducción de emisiones y estudios de mitigación.

Bradiford y Kent (1993), establecen que desde hace algo más de veinte años la noción de externalidad resume a los términos de impactos y ventajas/desventajas posicionales, ha ido ganando terreno como Instrumento para la intervención en el marco de las preocupaciones por el medio ambiente y el bienestar.

Escobari (2004), señala que una externalidad es un costo o beneficio que surge de la producción y recae en algún otro que no es el productor, o un costo o beneficio que surge del consumo y recae en algún otro que no es el consumidor e indica que una externalidad negativa impone un costo y una externalidad positiva crea un beneficio. Indica que hay cuatro posibles tipos de externalidades:

- Externalidades negativas en la producción: son muy comunes y algunos ejemplos son el ruido de aviones y camiones, ríos y lagos contaminados, la destrucción del hábitat de los animales, y la contaminación en el aire en las grandes ciudades.
- Externalidades positivas en la producción: son menos comunes que las externalidades negativas. Dos ejemplos son la producción de miel y de frutas.
- Externalidades negativas en el consumo: son parte de nuestro diario vivir. El fumar en áreas reducidas expone la salud de los demás a un riesgo, otro ejemplo pueden ser los autos ruidosos que causan contaminación auditiva para demás.
- Externalidades positivas en el consumo: éstas suceden cuando el entorno se ve favorecido, de alguna manera, de las acciones realizadas.

Walter (2009), señala que en ocasiones un mercado produce efectos a otros sujetos que no son los compradores y vendedores que actúan en él, a estos efectos colaterales se les llama externalidades. Subraya que las externalidades producen ineficiencia en los mercados, e impiden que se maximice el excedente. Indica que las externalidades surgen cuando una persona participa en una actividad que influye en el bienestar de terceros y estos ni pagan ni reciben compensaciones por estos efectos y que cuando el impacto sobre un tercero es adverso, a la externalidad se la llama externalidad negativa, mientras que si el impacto sobre un tercero es benéfico, a la externalidad se la llama externalidad positiva.

Al respecto Stiglitz (2003), señala que existen muchos casos en los que los actos de una persona o de una empresa afectan a otras personas o a otras empresas, en los que una empresa impone un costo a otras pero no las compensa, o en los que una empresa genera beneficios a otras pero no recibe ninguna compensación a cambio, como ejemplo de ello es la contaminación del aire y del agua, o cuando una persona conduce un automóvil, reduce la calidad del aire, y por lo tanto, impone un costo a otras. Indica además, que los casos en que los actos de una persona imponen costos a otras se denominan externalidades negativas. Sin embargo menciona que

no todas las externalidades son negativas, pues has casos importantes de externalidades positivas, en los que los actos de una persona benefician a otra.

Nicola, Borregaard y Dufey (2005), refieren que el término externalidad es también conocido en la literatura económica con el nombre de efecto derrama y se designa el efecto que las acciones económicas emprendidas por los distintos agentes (productores o consumidores) pueden producir en los intereses de terceras personas, no implicadas directamente en la transacción. Señalan que en la mayoría de los países en desarrollo sólo existe una incipiente internalización de externalidades, tanto positivas como negativas, pues la regulación ambiental y su fiscalización sólo comenzaron a practicarse hace aproximadamente dos décadas.

En el campo específico de la energía eléctrica, las externalidades son todos aquellos costos o beneficios, relacionados con la salud, el medio ambiente y los materiales en los que se ha incurrido como resultado de las actividades de la cadena de producción de energía eléctrica. En el mismo sentido, se debe recordar que casi todas las tecnologías para generar energía agreden en mayor o menor medida al entorno y al medio ambiente, es decir, generan externalidades, pues bien, con la energía eléctrica sucede lo mismo, sin embargo, son mucho mayores las externalidades causadas al producir energía eléctrica por medio de combustibles fósiles que por medio de fuentes renovables, ya que los primeros obtienen la electricidad mediante el proceso de combustión para que el calor generado caliente agua a alta presión y así mover una turbina que está conectada a un generador eléctrico lo cual emite una gran cantidad de gases contaminantes, tales como el CO<sub>2</sub> y el CH<sub>4</sub> entre otros, mientras que las fuentes renovables están contenidas en la naturaleza y no implica un proceso de combustión para generar electricidad (Delacámara y Azqueta, 2007).

Los autores señalan que la producción y consumo de energía primaria, en general, y la generación de energía eléctrica, en particular, constituyen elementos críticos en el desarrollo de cualquier sociedad. Sin embargo consideran que es igualmente cierto que las tecnologías empleadas para su obtención y suministro son origen de una serie de impactos sobre el medio ambiente que, en última instancia, terminan afectando negativamente al bienestar de los ciudadanos, por lo que es necesario

cuantificar dichos impactos externos entre los que figuran los efectos de la contaminación en la salud humana y la agricultura, también las consecuencias en ecosistemas y el resultado del calentamiento global ocasionado por la emisión de GEI.

### **3.3. Cálculo de las externalidades**

Ante tales eventualidades, han surgido distintas metodologías que permiten evaluar, medir y calcular las externalidades o impactos que un proyecto genera. Estas metodologías se han desarrollado y utilizado en diversos países con circunstancias energéticas, ambientales y sociales diferentes, pero con una misma finalidad: obtener resultados que den a conocer de forma certera los costos no reflejados en los precios.

La metodología Análisis del Ciclo de Vida (ACV), se originó casi simultáneamente en Estados Unidos y Europa, y es definida como la técnica para evaluar aspectos ambientales y eventuales impactos asociados con un producto, por medio del levantamiento de un inventario de información sobre insumos y resultados de un sistema, así como de la evaluación de potenciales impactos sobre el medio ambiente. Es decir, considera que para la evaluación del impacto ambiental de una actividad productiva, es necesario medir las emisiones y daños generados durante todo el proceso de producción, desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción y el consumo, hasta el desecho (Kessel, 2009).

Al respecto Romero (2001), establece que el ACV de un producto es una metodología que intenta identificar, cuantificar y caracterizar los diferentes impactos ambientales potenciales, asociados a cada una de las etapas del ciclo de vida de un producto. Básicamente, se enfoca al rediseño de productos bajo el criterio de que los recursos energéticos y materias primas no son ilimitados y que, normalmente, se utilizan más rápido de como se reemplazan o como surgen nuevas alternativas. Sostiene que la norma ISO 14040:1997 establece que el ACV es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados con un producto, lo cual se efectúa recopilando un inventario de las entradas y salidas

relevantes del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas, e interpretando los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio.

La autora señala que la metodología considera una serie de fases de trabajo interrelacionadas, que siguen una secuencia definida y consta de cuatro fases: definición de los objetivos y el alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto e interpretación de resultados.

Crespo et al. (2005), precisa que los métodos de evaluación de impactos sirven para establecer valor a cada uno de ellos y el impacto total de cada proyecto, de forma que se puedan comparar alternativas diferentes. Refiere que la "Matriz de Leopold" es el primer método que se utilizó en evaluaciones de impacto ambiental en 1971, por el Servicio Geológico de los Estados Unidos de Norteamérica, y a pesar de su antigüedad, con variaciones, es de los que más se utilizan en la actualidad. Se basa en una matriz donde en las columnas hay 100 acciones y en las filas 88 factores ambientales. Los cruces son posibles efectos ambientales o impactos. Las cuadrículas del cruce que presenten impactos significativos se dividen con una diagonal marcando en la parte superior la magnitud del impacto, valorada entre 0 y 10, y en la inferior la importancia, también en una escala de 0 a 10. Sumando por filas se obtiene el impacto producido sobre un determinado factor ambiental, y sumando por columnas el impacto producido por una cierta acción.

Otro método referido por los autores es el Battelle-Columbus. Se desarrolló en los Laboratorios Battelle, de Columbus, Ohio (Estados Unidos de Norteamérica), en 1971, y proporciona un sistema para evaluar el impacto global de un proyecto. Fue uno de los primeros métodos que buscó un valor agregado del impacto para cada alternativa. Para ponderar los factores se utilizó un Método Delphi y se definen los parámetros clasificados en componentes, agrupadas en categorías. El método utilizado para ponderar los factores puede repetirse en otras circunstancias. Para medir la magnitud de cada parámetro se utilizan unidades homogéneas, usando funciones de transformación, y con la suma ponderada de los factores se obtiene el impacto global de la obra.

El Método Galletta es otro de los procedimientos que los autores mencionan como una herramienta para evaluar las externalidades. Señalan que nació de la evaluación de carreteras y autopistas y se basa en el método de transparencias de Mc Harg (costo-beneficio). Indican que fue diseñado en Italia, y propone un modelo general de evaluación de impactos ambientales mediante un programa de computadora se calcula la calidad inicial del medio ambiente y la calidad de éste una vez realizado el proyecto, representando gráficamente los resultados. Para ello se consideran 14 factores ambientales que se ponderan de 0 a 100, se divide el territorio en cuadrículas homogéneas formando una malla, y se valora en cada cuadrícula, cada uno de los 14 factores con una puntuación de 1 a 5, obteniéndose la calidad del medio ambiente. Posteriormente se calculan los impactos producidos por el proyecto y de esta forma se obtiene la calidad final con proyecto para cada cuadrícula. Estos resultados se representan en mapas ambientales.

Por último los autores refieren el Método de Mc Harg, y establecen que es uno de los métodos precursores de la evaluación de impactos ambientales y se basa en la utilización de mapas de capacidad de acogida del territorio para los diversos usos que se le puedan dar al suelo. Estos mapas se realizan sobre transparencias que al superponerse permiten ver de forma clara las áreas más aptas (aptitud) o impactantes para una determinada actividad. Se utilizó por primera vez en el año 1968 para seleccionar el área de menor impacto en el trazado de una autopista

No obstante los diversos métodos que se utilizan para evaluar los impactos externos de un proyecto sobre el entorno, se debe aclarar que hay algunos con mayor aceptación a nivel global, por considerarse más robustos y completos. Uno de ellos surge del acuerdo de colaboración entre el Departamento de Energía de los Estados Unidos y la Unión Europea para desarrollar el proyecto *Externalities of Energy* (ExternE), cuyo propósito fue determinar los costos externos de la generación de electricidad. Con ello, se reconoció la valoración de las externalidades de la producción y el uso de la energía como una de las tareas de la comunidad científica europea. El proyecto ExternE, utiliza la metodología “vías de impacto” en varios casos de estudio de plantas eléctricas individuales, con diferentes tipos de

combustibles, en cada uno de los estados miembros de la Unión Europea, así como en plantas de incineración y en el transporte. Esta metodología es muy detallada y compleja, ya que requiere gran cantidad de datos de entrada, tanto técnicos como de salud, ambientales y económicos (Organismo Internacional de Energía Atómica, 2003).

Octaviano (2011), indica que la metodología “vías de impacto” comprende cuatro etapas: 1) caracterización de la fuente emisora; 2) dispersión de los contaminantes y cálculo de concentraciones; 3) evaluación de los impactos, y 4) evaluación monetaria. En lo que respecta a la cuarta etapa (evaluación monetaria), ésta se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$D = (I) (CU)$$

donde:

$D$ , costo estimado de la externalidad (dólares por año)

$I$ , impacto calculado por la ecuación  $I = \sum_j N_{rec, j} F_{er} [r_j, C_j(Q)]$

$CU$ , costo unitario (por ejemplo, costo por ataque de asma)

donde:

$I$ , impacto estimado (casos anuales de enfermedad o años de vida perdidos),

$N_{rec, j}$ , número de personas en el vector de localización  $r_j$ ,

$r$ , distancia viento debajo de la fuente de contaminación,

$F_{er}$ , función exposición-respuesta,

$C(r, Q)$ , cambio en el incremento de la concentración de fondo en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para una tasa de emisión  $Q$ , en el vector de localización  $r$ .

Al igual que en otros países de la UE y América, la metodología vías de impacto se ha consolidado en México como una de las más utilizadas para realizar estudios de impactos externos en los proyectos de que involucran energía. Prueba de ello son las investigaciones realizadas por la SEMARNAT, la SENER, la CFE y PEMEX, las cuales se utilizaron para la estimación de externalidades que generan (Octaviano, 2011).

Turtós (2003), menciona que la metodología Vías de Impacto usa el enfoque función de daño y considera que la aplicación de esta metodología es la mejor alternativa, pues permitirá no sólo determinar las externalidades del sector eléctrico, sino además crear una base de datos y realizar estudios complementarios que podrán ser utilizados para medir impactos para cualquier actividad, como el transporte.

La autora subraya que la metodología Vías de Impacto comienza por identificar la localización de la fuente (urbana o rural), cuantificar sus características físicas y preparar un inventario detallado de contaminantes emitidos. Los parámetros de la fuente incluyen: el diámetro y la altura de la chimenea por la cual los contaminantes son emitidos, además de la temperatura, velocidad y flujo de gases de escape. Las emisiones son dependientes de la tecnología y del tipo de combustible empleado. Las emisiones son consideradas continuas durante el año, lo cual quiere decir que si una planta tiene un factor de carga de un 70%, las externalidades anuales son calculadas asumiendo que las emisiones son constantes, al 70% de los valores, durante las horas de operación a plena carga.

Sin embargo Turtós (2003), menciona que existen dificultades para aplicar ésta metodología en algunos países, puesto que el proceso de estimación de las externalidades medioambientales involucra a muchos expertos de diferentes ramas: ingenieros, modeladores de dispersión, epidemiólogos, ecólogos y economistas lo que implica una gran cantidad de recursos, datos y tiempo que para algunos países en vías de desarrollo no están disponibles. Es por eso que el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha propuesto recientemente un grupo de Metodologías Simplificadas basado en la Metodología Vías de Impacto, agrupadas en el software SIMPACTS, que permiten la estimación de los costos externos de una manera más sencilla y al alcance de los países en desarrollo. Refiere que SIMPACTS fue desarrollado para poner a disposición de los expertos, un conjunto de herramientas de cálculo que utilicen un número limitado de datos para evaluar los impactos físicos y los costos del daño a la salud humana y el ambiente de diferentes opciones de producción de electricidad. Destaca que La metodología de SIMPACTS

es transparente, fácil de implementar, requiere limitados datos de entrada y proporciona resultados razonablemente exactos y confiables.

La autora refiere otros mecanismos que consideran las externalidades en una u otra forma: Orden y Control; Cuotas de emisiones e Impuestos sobre el Combustible; Compensación o Política de Concesiones Comerciales; Consideraciones a la Tasa de Retorno y Consideraciones de colaboración, sin embargo, algunos han ido quedando en desuso debido a la penetración de la metodología Vías de Impacto.

### **3.4. La generación de electricidad con fuentes renovables**

Como se ha mencionado anteriormente, la energía eléctrica también se puede producir por medio de fuentes renovables, más aún, la principal energía que las fuentes renovables proveen es la electricidad. Esto se puede lograr gracias a la fuerza del viento al mover un aerogenerador, o del aprovechamiento del calor del subsuelo que se transmite a través de los cuerpos de roca caliente o reservorios por conducción y convección, también al utilizar las corrientes del agua naturales obteniendo energías cinética y potencial para mover una turbina, y a la transformación directa de la radiación solar en energía eléctrica por medio de células solares (Hermosillo, 1995).

Las energías renovables provienen de fuentes primarias inagotables o con capacidad de regeneración en un periodo inferior al de su uso. Se basan en los flujos y ciclos naturales del planeta, son abundantes, perdurables y mientras sean utilizadas con responsabilidad para la producción de energía no destruyen el medio ambiente, es decir, casi no generan externalidades negativas (Hermosillo, 1995).

Vega (2010), indica que por sus características, las fuentes de energía renovables son inagotables aunque reconoce que su disponibilidad es intermitente y aclara que su aprovechamiento no causa alteraciones graves al medio ambiente. Agrega que este tipo de energía se define como aquella que administrada en forma adecuada, puede explotarse ilimitadamente, es decir, su cantidad disponible no disminuye a medida que se aprovecha.

La energía renovable tiene características importantes destacando principalmente su naturaleza limpia e inagotable y es una alternativa a la actual dependencia del petróleo y de otras energías menos seguras como la nuclear.

### **Generación de energía por tipo de tecnología**

Como ya se ha mencionado, existen varias fuentes de energía renovables y dependiendo de su origen se clasifican en: energía eólica, solar, geotérmica e hidráulica, de las cuales se hará una descripción detallada a continuación. Por otro lado, aunque para algunos autores la biomasa también entra en la clasificación de energías renovables, existe una polémica considerable sobre la extracción necesaria de los recursos de la tierra para obtener la biomasa, por lo que ésta no será abordada en el presente trabajo de investigación.

La energía eólica es la energía del viento transformada en energía mecánica o eléctrica, como antecedente de las primeras aplicaciones de la energía eólica se encuentra el uso para la molienda de granos y del bombeo de agua. No fue sino hasta finales del siglo pasado que se empleó la generación de energía eléctrica a partir de esta fuente renovable y actualmente las turbinas eólicas son las que convierten la energía cinética del viento en electricidad a través del movimiento de las aspas o hélices que giran sobre un eje central conectado mediante engranes a un generador eléctrico (Solís y Gutiérrez, 2010).

Baird (2004), subraya que existen varias ventajas competitivas de la energía eólica con respecto a otras opciones, entre las que destacan el menor tiempo de construcción con respecto a otras alternativas como la hidráulica, el breve tiempo de respuestas de crecimiento, ya que son plantas modulares, y el amplio conocimiento, desarrollo, manejo y crecimiento de la tecnología que genera la energía eólica.

De Buen (2010), indica que la energía solar es aquella que proviene de la radiación del sol y se divide de acuerdo a la tecnología utilizada en: a) fotovoltaica; b) solar de alta concentración y c) térmica.

El autor establece que la potencia de la radiación para generar cualquiera de los tres tipos de energía solar mencionados, varía según la latitud del sitio, el momento del día y las condiciones atmosféricas que la amortiguan. Se puede suponer que en la superficie terrestre, en un día claro, al medio día solar y en un plano normal (línea perpendicular a los rayos del sol) a los rayos solares, la potencia de la radiación es cercana a los 1000 W/m<sup>2</sup> energía suficiente para encender 20 focos de 50 Watts durante una hora. Señala que para la generación de electricidad en las centrales de concentración solar, la radiación del sol calienta un fluido, que a su vez mueve una máquina térmica y un generador eléctrico, el calentamiento del fluido se hace generalmente por medio de dispositivos ópticos que concentran la radiación solar y de esta manera existe generación de energía eléctrica.

Méndez y Cuervo (1995), sostienen que la razón por la que hay un gran interés en la investigación y el desarrollo de la energía solar, es porque el sol es una fuente inagotable de energía cuya captura y uso no da lugar a emisión de contaminantes como lo hacen los combustibles fósiles que se utilizan en la actualidad. Sin embargo mencionan algunas desventajas de esta energía: Su disponibilidad es intermitente y por lo tanto, requiere un almacenaje eficiente con el fin de que el suministro de energía sea continuo; es una fuente difusa y provee una energía de baja densidad por unidad de superficie de captación, por lo que se necesitan grandes áreas para su aprovechamiento y que además, para la construcción del captador de energía y el almacenamiento de ésta, se requieren elevados costos de inversión.

La energía geotérmica es aquella proveniente del núcleo de la Tierra en forma de calor, ésta fluye a través de fisuras en rocas y se acerca a la superficie, donde su acumulación depende de las condiciones geológicas del lugar. El principal elemento de la geoenergía consiste en aprovechar el calor que procede del magma terrestre de tal manera que pueda ser utilizada de manera directa para producir electricidad a través del vapor que expulsa. Para poder emplear esta energía, las centrales de generación deben estar ubicadas a lo largo de los márgenes de las placas tectónicas donde el magma se acerca a la superficie. No obstante su naturaleza renovable, es preocupante la contaminación potencial que puede generar esta energía debido al

H<sub>2</sub>S (sulfuro de hidrógeno) que contienen los gases expulsados, así como los metales pesados en el agua (Davis, 2005).

Energía Hidráulica: Es la generación de electricidad a partir de la energía producida por el agua que corre al salvar el desnivel natural o artificial existente entre dos puntos. La hidroenergía es aquella que aprovecha los principios físicos más elementales para convertir la energía potencial del agua almacenada en energía cinética en circulación. Esta energía se produce pasando el agua mediante turbinas hidráulicas, las cuales se utilizan para convertir la energía del agua que fluye en energía eléctrica utilizable. A pesar de que se han empleado corrientes de agua naturales para la generación de energía hidráulica, el principal método con que se almacena el agua para aumentar la energía potencial son las presas (Echarri, 1998).

Molina y Montiel (2004), refieren que la energía hidráulica, o energía producida por el agua en movimiento, ha sido hasta hace unos años la mayor fuente de energía renovable para algunos países. Señalan que la mayoría de las centrales hidroeléctricas emplean presas para embalsar el agua de los ríos y poder liberarla de forma controlada, así, cuando el agua escapa de la presa, mueve una turbina y genera electricidad. Indican que existen presas que funcionan sobre todo el caudal del río, mientras que otras, desvían una parte de la corriente, aunque estos bypasses pueden tener una longitud de varios kilómetros. No obstante que se trata de una energía que se genera por medio de una fuente renovable, los autores refieren que la hidroelectricidad tiene algunos inconvenientes derivados de sus fluctuaciones productoras y por la necesidad de inundar espacios, sobre todo cuando los grandes grupos necesitan de embalses reguladores.

Al igual que la electricidad generada por medio de combustibles fósiles, la energía eléctrica producida con fuentes renovables -aunque en menor medida- también origina externalidades negativas. Agostini y Padilla (2010), refieren que los principales impactos identificados en los proyectos de generación de energía con fuentes renovables se pueden identificar en las afectaciones que se generan durante la construcción de las centrales. Indican que en el caso de una planta hidroeléctrica las externalidades se presentan cuando se contamina el agua o los suelos, además

de la alteración de la fauna acuática, de la vegetación y de las comunidades asociadas.

En el mismo sentido, Linares (2002), señala que en la construcción de una planta geotérmica se puede causar la contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico y amoníaco, además de la posible emisión de ácido sulfhídrico.

En cuanto a las centrales de energía solar fotovoltaica y eólica, Moselle, Padilla, y Schmalensee (2010), señalan que las externalidades que provocan están relacionadas con las emisiones que se dan principalmente en las fases de construcción y transporte de sus componentes, pero no en su operación, y que en general, las energías renovables causan más externalidades positivas que negativas, puesto que se evita la quema de combustibles fósiles en la generación de electricidad y con ello la emisión de GEI, por lo que tienen menor impacto ambiental ya que reducen el número de contaminantes a la atmósfera en su producción y consumo, pero además, indica el autor que su distribución territorial es más dispersa, es decir, menos concentrada.

En la actualidad, la tendencia mundial se enfoca al uso de las energías renovables, mismas que son amigables con el medio ambiente. Prueba de ello es que estas fuentes de energía se han convertido en un tema prioritario en las agendas energéticas, tanto en los países industrializados como en muchas economías en desarrollo, gracias a sus efectos benéficos en las esferas económicas, sociales y ambientales (Vega, 2010).

De acuerdo con Bertinat (2004), esta tendencia requiere estar fundamentada en los siguientes pilares, condiciones y criterios: 1) seguridad en el abastecimiento de los diversos insumos energéticos; 2) reducción de la actual dependencia energética; 3) prevenir y revertir los impactos ambientales locales y globales resultantes del actual sistema de producción y consumo de combustibles fósiles; 4) asegurar la cobertura y el acceso equitativo de toda la población a los recursos y servicios energéticos mediante costos accesibles y finalmente; 5) garantizar la participación democrática

de la población en los procesos de decisión sobre las políticas y proyectos energéticos.

Existen otros energéticos, que al igual que la electricidad, se utilizan de manera cotidiana, generalizada y global, este es el caso de las gasolinas fósiles.

### **3.5. Las gasolinas fósiles**

La gasolina se obtiene de la refinación del petróleo crudo, a su vez, el petróleo es la fuente primaria de los combustibles fósiles y sus características son muy particulares. Es una sustancia orgánica, viscosa y oscura extraída desde el interior de la tierra, se forma en yacimientos generados por la descomposición de grandes acumulaciones de restos orgánicos comprimidos por movimientos geológicos y descompuestos por bacterias y microorganismos anaerobios bajo condiciones de presión y temperatura elevadas. Además de suministrar energía para realizar todo tipo de actividades, el petróleo, es actualmente la principal fuente energética para el mundo debido a la gran cantidad de energía obtenida durante su combustión (Roldan, 2008).

El petróleo está dentro de la clasificación de energías no renovables, mismas que de acuerdo a la Agencia Valenciana de Energía (2008), son aquellas fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada y, una vez consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse debido a que no existe un sistema de producción de éstas.

### **3.6. El proceso de producción de la gasolina**

Sin el proceso adecuado, el petróleo tal como se obtiene del yacimiento tiene muy pocas aplicaciones, de tal manera que para la obtención de productos derivados más rentables como la gasolina, una vez extraído del subsuelo, el petróleo se somete a un proceso de conversión de energía primaria a secundaria denominado refinación (PEMEX, 2015).

Se conoce como refinación al conjunto de procesos que se aplican al petróleo crudo con la finalidad de separar sus componentes útiles, éste proceso se lleva a cabo en

una refinería, la cual es una industria donde el petróleo se transforma en sus derivados, cuya función es transformar el petróleo en productos que satisfagan la necesidad de energía que demanda la sociedad. Dicha transformación se logra mediante los procesos de destilación atmosférica, destilación al vacío, hidrodesulfuración, desintegración térmica, desintegración catalítica, alquilación y reformación catalítica, lo cual da lugar a los principales productos petrolíferos tales como la gasolina automotriz, diesel, gas LP, gasolvente, gas nafta, turbosina, kerosina, Emulsiones, Vaselinas, Aceites Lubricantes, Grasas, Parafinas, Combustóleo y Asfaltos (PEMEX, 2015).

### 3.7. Externalidades de la gasolina

Una vez producida la gasolina mediante el proceso de refinación, ésta tiene usos automotrices, industriales y residenciales, entre otros. En este sentido se debe señalar que al igual que las otras energías objeto de estudio, la gasolina genera impactos externos en su producción pero principalmente es su consumo.

De acuerdo con *inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks* (2008), la fuente más notable de emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial proviene del consumo de gasolina en el transporte automotriz puesto que existe una gran cantidad de automóviles en el mundo y el 99% de las gasolinas utilizadas en ellos son fósiles, por lo que las emisiones de CO<sub>2</sub> y sus efectos, son la principales externalidades generadas en el consumo de este energético. Sin embargo también en su producción se generan impactos externos, éstos también son emisiones contaminantes y algunos fluidos que afectan el suelo y el agua.

Azqueta y Delacámara (2008), analizan las externalidades de la producción de gasolina y mencionan que durante la extracción de petróleo crudo se generan diversos efectos e impactos y pueden clasificarse en tres categorías principales:

- 1) Efectos directos. Se vinculan evidentemente con las principales actividades relacionadas con el petróleo (exploración, extracción, traslado y bombeo).

1.1) Emisión de contaminantes atmosféricos, como consecuencia de la combustión de gas.

1.2) Vertidos accidentales y reiterados, filtraciones en el suelo y en los sistemas hídricos (aguas subterráneas y superficiales) que contaminan los ecosistemas causan daños a la salud.

1.3) Vertidos de agua contaminada al medio ambiente (el agua que trae el petróleo al extraerlo).

2) Efectos indirectos. No se relacionan directamente con las actividades petrolíferas, pero están muy vinculados a la existencia de tales actividades. Entre ellos cabe mencionar la construcción de nuevos caminos de acceso, que favorecen el movimiento de potenciales colonos y la colonización de nuevos terrenos.

3) Efectos inducidos. Son aquellos ligados a las actividades secundarias que derivan de las petrolíferas, como el desarrollo de asentamientos urbanos que proporcionan a la población local (trabajadores del sector petrolífero, colonos y otros) servicios básicos de salud, educación, comercio y otros.

No obstante, como ya se ha mencionado, los mayores impactos externos no se generan en la producción de la gasolina, se generan es su consumo. En este sentido, el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) se genera principalmente al utilizar combustibles fósiles como la gasolina y su fuente preponderante a nivel mundial proviene precisamente de los vehículos que utilizan éste petrolífero para su funcionamiento, lo cual tiene efectos negativos para la salud y el medio ambiente, entre otros.

La Organización Mundial de la Salud (2000) establece que el CO<sub>2</sub> es uno de los principales Gases de Efecto Invernadero que causan el calentamiento global y el cambio climático. La OMS señala que las emisiones de este tipo de gases han aumentado mucho desde la época preindustrial por el modelo energético global basado en la quema de combustibles fósiles, y que los impactos del cambio climático ya son perceptibles, y quedan puestos en evidencia por datos como el aumento de la temperatura global de 0.85 °C por encima de la era preindustrial, el

aumento del nivel del mar y el progresivo deshielo de las masas glaciares como el Ártico o los glaciares tropicales concentrados en Los Andes.

Greenpeace (2014), indica que de continuar el modelo energético actual, el cambio climático constituye la mayor amenaza medioambiental a la que se enfrenta la humanidad y que si no se reducen drásticamente las emisiones de GEI en todo el mundo los impactos del cambio climático serán realmente graves.

Además de calentamiento global, contaminantes atmosféricos como el CO<sub>2</sub> pueden ejercer una amplia gama de efectos adversos para la salud humana. La OMS (2000), precisa que entre ellos es posible mencionar la disminución del flujo de aire en las vías respiratorias, deterioro del rendimiento físico, irritación de las mucosas oculares y del tracto respiratorio, disminución de la resistencia a las infecciones del aparato respiratorio, deficiencia de la función pulmonar, aumento de la frecuencia cardiaca, severidad de las crisis agudas en pacientes asmáticos y de angina en pacientes de cardiopatía isquémica, incremento de la prevalencia y los síntomas de las enfermedades respiratorias obstructivas crónicas como la bronquitis e incluso el aumento de la incidencia de cáncer pulmonar.

Debido a la emisión de CO<sub>2</sub> y otros GEI, también se pueden observar impactos económicos y sociales tales como daños en las cosechas y en la producción alimentaria, sequías, y fenómenos meteorológicos extremos como tormentas y huracanes (IPCC/ONU, 2015). Por lo que respecta a los ecosistemas, la contaminación por la quema de combustibles fósiles afecta a la vegetación, ya que lesiona cada hoja de la flora, reduce la fotosíntesis y contribuye a la acidificación del suelo con las consecuentes pérdidas de la agricultura, y es especialmente dañina para los ecosistemas acuáticos, pues contribuye al desequilibrio del PH de los cuerpos de agua, mermando los recursos pesqueros (OPS, 2000).

Lo anteriormente descrito representa un riesgo latente, pues de acuerdo al IPCC (2015), es indispensable que las emisiones mundiales se reduzcan entre un 40 y un 70 por ciento a mitad del presente siglo y que sean nulas a finales de éste, de lo contrario la temperatura terrestre aumentará poco más de dos grados en 2050 y el

calentamiento podría exceder los cuatro grados en el 2100 y según cifras del Banco Mundial, las pérdidas por los desastres naturales alcanzarían los 3.8 billones de dólares.

### **3.8. Indicadores de costos de producción de la energía**

Como se ha mencionado con anterioridad en este capítulo, producir cada tipo de energía tiene sus propios esquemas técnicos y de costos, sin embargo existen criterios que se toman como base para los proyectos que involucran energía.

#### **Costos de Producción**

En este sentido, existen herramientas que especifican los diversos indicadores con los cuales se debe calcular el costo de producción de un proyecto energético. El Costo Nivelado de Energía (LCOE), es un indicador que permite comparar los costos unitarios de diferentes tecnologías de producción de energía eléctrica a lo largo de la vida de un proyecto específico. Este método es el más aceptado y utilizado a nivel mundial y calcula los costos con base en la cantidad de electricidad neta provista a la red, generando un valor presente del costo de generación de energía por unidad de electricidad producida (KWh), es decir, la relación entre el total de gastos durante la vida útil del proyecto y el total de electricidad que se espera generar *Renewable Energy Agency* (2013). De acuerdo con lo anterior, el LCOE está determinado por seis componentes o indicadores claves:

1. Calidad de los recursos
2. Costos de equipos y desempeño
3. Combustible (en caso de ser usado)
4. Costos de operación y mantenimiento
5. Vida económica del proyecto
6. Costo del capital (Inversión)

La Unidad de Planeación Minero Energética (2004), en su Estudio de costos de racionamiento de electricidad y gas natural, establece que los costos y gastos relacionados con la generación de electricidad y gas natural son: 1) costos de

inversión; 2) costos de insumos; 3) compra de servicios; 4) costos de electricidad; 5) costos de combustibles; 6) costos de mano de obra y 7) otros costos.

Moreno, Mocarquer, y Rudnick (2010), determinan que la inversión en proyectos de generación eléctrica está predominantemente establecida por los costos de los equipos en función de la tecnología de generación. Señalan que la estructura de costos promedio para proyectos de generación que se llevó a cabo en Reino Unido, España, Alemania y Dinamarca durante los años 2001 y 2002 fue:

- 1.- Costo de equipo
- 2.- Costo de instalaciones Eléctricas
- 3.- Conexión a la Red
- 4.- Consultoría
- 5.- Costo del terreno
- 6.- Costos Financieros
- 7.- Construcción de Accesos
- 8.- Costos de operación y mantenimiento

Los autores precisan que además de los costos de inversión (puntos del uno al siete), se deben estimar los costos de operación y mantenimiento de manera adecuada, y para ello es necesario determinar los requerimientos de personal, los costos por seguros, los contratos de manutención, pago de servicios, pago de créditos bancarios, costos misceláneos y los cargos por peajes de transmisión, según corresponda.

El Banco Interamericano de Desarrollo (2013), determina que los costos relacionados directamente con las inversiones a realizar para la puesta en marcha de programas de producción de energía son: 1) equipos; 2) obras civiles; 3) instalaciones y transporte. En su descripción de costos, el BID no señala al mantenimiento como un indicador a considerar en los proyectos, debido a que se considera que el mantenimiento es no es un costo para necesario para crear infraestructura de proyectos energéticos.

Buendía (2014), señala que los costos de un proyecto de energía pueden clasificarse en: a) costos de inversión o instalación; b) costos de operación y mantenimiento; y c) costos regulatorios. Estos últimos dependerán de la legislación y regulación vigentes en cada región. Establece además, que los beneficios en los proyectos de energías limpias son aquellos que evitan una externalidad negativa y los ingresos por venta de certificados verdes en el mercado de energía mayorista.

Cordero et al. (2006), precisan con respecto a un estudio hidroeléctrico que las variables para determinar los costos en los proyectos de producción de energéticos están en función de: 1) inversiones; 2) estudio y planos finales; 3) impuestos de construcción; 4) afectaciones comunitarias; 5) campamentos temporales; 6) accesos; 7) sitios de vigilancia ambiental; 8) plan de manejo de protección; 9) administración e inspección.

Adicional a las consideraciones de costos, en las que se puede observar que se incluyen costos por externalidades (punto 4), los autores mencionan que como elemento de valoración de las externalidades se usó la transferencia de dióxido de carbono a la atmósfera, producto de la deforestación en proyectos hidroeléctricos. Se partió del supuesto que por hectárea de bosque tropical hay 175 toneladas de carbono y que una tonelada de carbono, al transferirse a la atmósfera, se convierte en 3.7 toneladas de dióxido de carbono.

### **3.9. El valor de las externalidades**

Como ya se había mencionado, anteriormente, las externalidades pueden ser negativas o positivas, pueden representar impactos y costos pero también pueden representar beneficios. Los principales beneficios (más allá del estrictamente económico) de la generación de energía con algunas fuentes renovables, son los beneficios al medio ambiente y a la salud propiciados por la no emisión de GEI.

Cordero et al. (2006), refiere que las energías renovables son seguras puesto que no contaminan ni tampoco suponen un riesgo para la salud. Además, sus residuos no crean ningún tipo de amenaza para nadie, y destaca que uno de los principales

incentivos para su desarrollo es que se trata de fuentes de energía inagotables, como el sol o el viento.

Torres (2012), señala que las energías renovables contribuyen a la sanidad ambiental fomentando el turismo y evitando millones de toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera, además, su crecimiento y desarrollo aseguran que las futuras generaciones puedan disfrutar de un entorno enriquecido por sus recursos naturales y protegido por políticas públicas que permitan conservar la salud.

Allpe (2016), sostiene que el beneficio más obvio de las energías renovables desde un punto de vista exclusivamente ambiental es el de ayudar a reducir la presencia de CO<sub>2</sub> y otros gases en la atmósfera, permitiendo con esto reducir el cambio climático debido a factores humanos. Establece que otro beneficio es la reducción de contaminantes de todo tipo generados por la producción de energías convencionales, tanto en la extracción como en la generación.

### **Certificados de Reducción de Emisiones**

Sin embargo, además de los beneficios ambientales y de salud que se han expuesto y que son propios de las energías renovables, existen beneficios en términos económicos, más allá de la utilidad que les pueda generar la venta de la energía producida. Se trata de la venta de Certificado de Reducción de Emisiones (CER), mismos a los que se puede acceder al llevar a cabo un proyecto de generación de electricidad con fuentes limpias.

Gaioli (2016), menciona que los proyectos que contribuyen a reducir las emisiones de GEI pueden beneficiarse del fondeo que brinda el mercado de carbono. Dichos flujos surgen de los compromisos obligatorios asumidos por los países industrializados en el marco del Protocolo de Kyoto o por las acciones voluntarias emprendidas por Estados, empresas o sectores que no están alcanzados por las obligaciones de Kyoto.

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2010), señala que la venta de Certificados de Reducción de Emisiones representa un beneficio, pues se estima que el país tiene un potencial de reducción y captura de carbono cercano a los 81 millones de toneladas que pueden traducirse en un ingreso cercano a \$500 millones de dólares por concepto de venta de CER en 5 años.

No importa en qué parte del planeta se eviten las emisiones de GEI, el efecto es el mismo, evitar que una tonelada de carbono sea liberada a la atmósfera tiene el mismo efecto en la mitigación del cambio climático, sin importar en que región del mundo se haga.

Ramos (2011), indica que el mercado de CER ofrece interesantes beneficios para proyectos mexicanos de energía, ya que existe un importante potencial para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a cambio de un beneficio económico. Señala que los mercados de carbono funcionan como mecanismos de reducción de GEI, ya que restringen la cantidad de toneladas de CO<sub>2</sub> que se emiten con la venta de CER, y de esta manera, las empresas *internalizan* los costos de emitir CO<sub>2</sub>, de modo que sus costos aumentan, lo que es un incentivo para reducir sus emisiones.

González (2008), establece que el mercado de CER es una nueva forma de obtener ingresos frescos sin endeudarse ni comprometer el capital. De esta manera se pueden financiar proyectos de mejora continua, actualización tecnológica y fortalecimiento de la imagen corporativa frente a la comunidad.

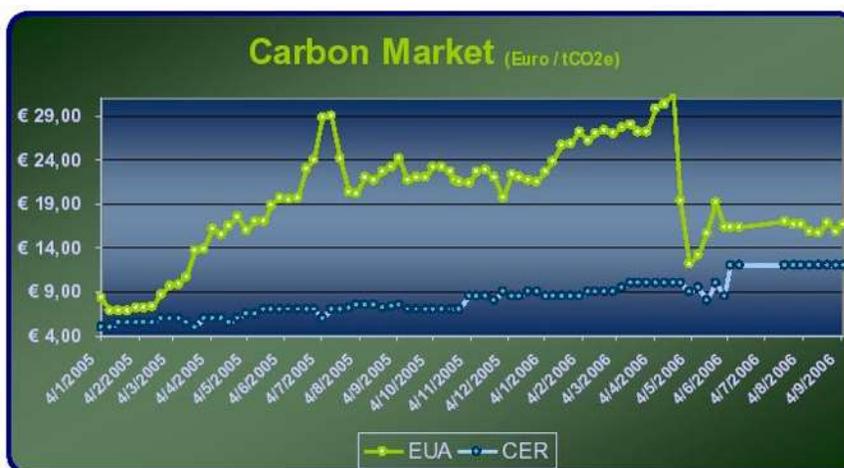
Lecocq et al. (2003), afirman que el volumen de las transacciones en el mercado de carbono se ha duplicado desde 2002, comerciándose más de 70 millones de toneladas métricas equivalentes de dióxido de carbono (tCO<sub>2e</sub>) en 2003, la mayor parte de este volumen se debe al intercambio mediante transacciones basadas en proyectos que tienen por objeto cumplir el Protocolo de Kyoto. Los compradores son gobiernos, asociaciones público-privadas y cada vez con más frecuencia, empresas privadas. Este sector constituye más del 40% del volumen total de la reducción de emisiones adquiridas en países en desarrollo.

Los autores sostienen que en 2003, el 90% de la reducción de emisiones resultó de proyectos situados en países en desarrollo o en países con economías en transición. Señalan que por volumen de proyectos, la primera región es América Latina, seguida de Asia y de los países con economías en transición. África y los países más pobres de Asia prácticamente no participan en este comercio.

Los precios de los CER varían según el segmento de mercado y la estructura de la transacción, por ejemplo, los precios se elevan en las transacciones que tienen por objeto el cumplimiento de los compromisos contraídos con el Protocolo de Kyoto y cada CER puede tener un precio por encima de los 29 euros, pues el riesgo de que la reducción de emisiones no llegue a registrarse supone una penalización significativa. En el mismo sentido señalan que la reducción de emisiones provenientes de proyectos pequeños con una considerable contribución al desarrollo sostenible, ha logrado sobrepagos en el mercado con montos entre 5 y 12 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2</sub>e), sin embargo el precio de los CER responde a diversos factores entre los que se encuentran en el mercado las circunstancias específicas que se viven en el sector energético y ambiental (Lecocq et al., 2003).

El precio de los CER está determinado en el mercado por la oferta y la demanda. Éstas están influenciadas por otros factores, tales como la aproximación al periodo de compromiso, el costo de reducción de emisiones en Países Anexo I, sanciones del Protocolo de Kyoto y CER permitidos para los Países Anexo I (*European Climate Exchange, 2015*).

La figura 3.3 muestra la fluctuación del costo de la tonelada de CO<sub>2</sub> emitida a la atmósfera en la Unión Europea. Este mercado es un referente para determinar el precio de los CER a nivel mundial (*European Climate Exchange, 2015*).

Figura 3.3 Mercado del carbón en la Unión Europea años 2005-2006 €/tCO<sub>2e</sub>

Fuente: Elaboración propia con datos del autor obtenidos de *European Climate Exchange* (ECE, 2015)

Sobre los costos de las emisiones de carbono a la atmósfera existen algunos autores que han realizado análisis exhaustivos al respecto. Tol (2005), establece que debido a la gravedad de los daños que causan, los costos de las emisiones de carbono deben ser de al menos \$ 50/tC, sin embargo al realizar un estudio comparativo de 28 resultados académicos, encontró que la media de las estimaciones del daño marginal causado por una tonelada de carbono es US\$ 86/tC. No obstante indica que al considerar otro tipo de estudios, aquellos publicados en revistas académicas, la media cae a US\$ 43/tC.

Nordhaus (2008), estima que el costo del daño causado por las emisiones debe ser de US\$ 27/tC, de tal manera que el costo del daño causado por una tonelada de carbono emitida sería de US\$ 35/tC, equivalente a US\$ 8.75/MWh.

Como se puede observar, existen diferentes estimaciones sobre el costo que debe tener cada tC generado, sin embargo es importante mencionar que al conocer el valor de mercado que se le asigna a un CER por los organismos autorizados, se está conociendo el costo del daño causado, es decir, se conoce el costo de las externalidades negativas por emisión de una tCO<sub>2e</sub> a la atmósfera. De esta manera el precio de los CER es un indicador representativo del valor de las externalidades tanto positivas como negativas de cualquier proyecto de producción de energía.

### 3.10. Las políticas públicas

Los altos costos de inversión y de producción seguirán alejando de las fuentes renovables a los potenciales inversionistas, a las instituciones de crédito y en muchos casos a los gobiernos, que no tienen a disposición un riguroso ACB de una eventual acción de política en torno de las energías renovables. Sin embargo algunos países han mostrado tendencias favorables hacia la diversificación de sus fuentes de energía, y en el ámbito de las políticas públicas se muestran abiertos a promover la generación de energías libres de carbono. Por lo anterior es importante revisará el panorama general de las políticas públicas y específicamente el contexto las políticas energéticas en México.

#### ¿Qué son las políticas públicas?

La política como objeto de estudio es un término que ha evolucionado a lo largo del tiempo. Se solía tener una concepción de ella como la disciplina que permitía convivir a los hombres en el mundo antiguo hasta llegar a vincularse con el Estado Nación, es decir, con las decisiones que a involucran a todos.

Para entender qué son las políticas públicas, es necesario diferenciar dos conceptos: *Politics* (política, objeto de estudio de la ciencia política) y *policies* (políticas). El primero es entendido como las relaciones de poder, los procesos electorales, las confrontaciones entre organizaciones sociales con el gobierno. El segundo tiene que ver más con las acciones, decisiones y omisiones por parte de los distintos actores involucrados en los asuntos públicos. Esta es la clave para diferenciar la Ciencia Política (*Political Sciences*), de las Ciencias de Políticas (*Policy Sciences*) (Laswell, 1951).

Lo anterior es aplicable a los diferentes sectores: política educativa, política educativa, política cultural, políticas culturales, política social, política social, política ambiental etc. Cada uno de los problemas existentes en la sociedad puede formar parte de algún estudio de política pública, para ello, se debe poseer un claro entendimiento de las posibilidades y limitaciones de los materiales, instrumentos y

recursos que se pueden utilizar, así como las relaciones que pueden existir entre los diversos actores que participan en la elaboración de política pública.

La evolución del análisis de políticas públicas debe situarse en el contexto histórico de la racionalización del Estado y de la política como una actividad en la que se formulan políticas públicas (Parsons, 2007).

A principios del siglo XX, la idea de que el gobierno podría mediante la formulación de políticas resolver problemas, incluidos los asociados a la economía, significaba que las ciencias sociales empezaban a establecer una nueva relación con la política y el gobierno.

Fue en Estados Unidos donde se registró un desplazamiento hacia un enfoque más unificado para el estudio de los problemas públicos y las políticas públicas a partir de la obra de Harold Lasswell que culminaría con la publicación del volumen sobre la "ciencia de las políticas públicas" de Lerner y Laswell como coautores en 1951. Posteriormente, la ciencia de las políticas públicas se decantó en dos grandes enfoques:

- Análisis de las políticas públicas: el cual se ocupa del conocimiento para el proceso de las políticas públicas.
- Análisis del proceso de las políticas públicas: que se ocupa del conocimiento acerca de la formulación e implementación de las políticas públicas (Laswell, 1970).

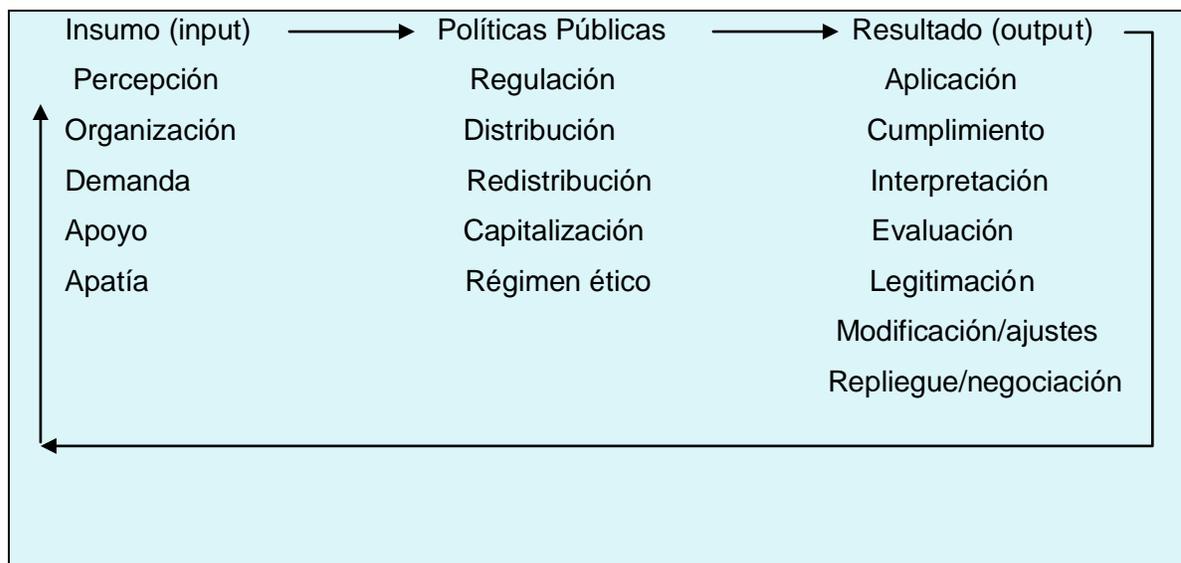
A fines de la década de 1960, en Estados Unidos y otros países los gobiernos requerían cada vez más información y análisis acerca de la educación, el transporte, la planeación urbana, por lo que Lindblom (1958), comenzó a utilizar con frecuencia los términos "análisis de políticas públicas" con el objetivo de analizar los problemas y desarrollar opciones y alternativas para resolverlos (Meltsner, 1976). A esta clase de análisis de políticas públicas Wildavsky (1979), lo llamaba hablarle al poder con la verdad y era esencialmente la creencia en las ciencias sociales como una forma de ingeniería o medicina.

La aportación de Simon (1957) a la evolución del enfoque de las políticas públicas ha sido trascendental. Ha impactado a una amplia gama de ciencias sociales (economía, psicología, administración empresarial, informática, sociología y ciencias políticas). Su interés en las ciencias humanas se ha centrado en la idea de una racionalidad limitada, pero con capacidad para mejorar. La idea de este autor de analizar la toma de decisiones como una secuencia de etapas racionales (inteligencia, diseño y elección) se ha convertido en elemento central en el análisis de las políticas públicas (Parsons, 2007).

Otro autor destacado en la aportación del análisis a las políticas públicas orientado al proceso de la formulación de políticas es Charles Lindblom (1958), el cual defendió una alternativa al enfoque racional de Simon, denominada incrementalismo, misma que se considera la aportación más importante a la teoría del proceso de formulación de políticas. Al criticar el modelo racional expuesto por Simon y otros autores, Lindblom rechazó la idea de que pensar en función de etapas o relaciones funcionales añadía algún valor al estudio del proceso de las políticas públicas. Establecía que los pasos deliberados y ordenados no constituyen un retrato preciso del funcionamiento del proceso real de las políticas públicas. Por el contrario, la formulación de políticas es un proceso complejamente interactivo que carece de principio y fin.

Easton (1965), representa una aportación importante al establecimiento de un enfoque de políticas públicas, ya que su modelo influyó considerablemente en la forma en que el estudio de las políticas públicas de la década de los 1960 empezó a conceptualizar su relación entre la formulación, los resultados y su entorno. Las principales características del modelo de Easton son la aproximación al proceso de las políticas públicas en función de los insumos (inputs) recibidos, en forma de flujos provenientes del entorno (partidos políticos, medios de comunicación, grupos de interés); las demandas dentro del sistema político y su conversión en resultados (outputs) e impactos de las políticas públicas. Lo anterior se esquemática en la figura 3.4.

Figura 3.4 El proceso de las políticas públicas como insumos (inputs) y resultados (outputs)



Fuente: Elaboración propia con datos de Frohock (1979) y Jones (1970)

El análisis de políticas públicas en su etapa naciente fueron en su mayoría derivados de la fusión de los modelos de toma de decisiones y sistema político de Laswell, Simon e Easton. Así, la combinación de etapas racionales y enfoques sistémicos brindó un modelo más dinámico de formulación de políticas, además de una base para entenderlas más allá de acuerdos institucionales (Parsons, 2007).

Una vez conocidas las dos concepciones sobre las políticas públicas cuyos supuestos permiten diseñarlas y de acuerdo a ellos tomar decisiones, se puede concluir que los modelos racionalistas establecen un claro entendimiento y análisis de la realidad, así como las relaciones que existe entre los diversos actores que participan. Mientras que los modelos del enfoque incrementalista, cuyo argumento central es que las decisiones se adoptan bajo esquemas pragmáticos que buscan salir del paso, más que obtener una solución global, es un enfoque que renuncia a la racionalidad en la toma de decisiones con el objetivo de que cada uno de los actores consiga el resultado más ajustado a sus intereses, partiendo siempre de ajustes incrementales, sobre decisiones tomadas anteriormente.

Existe otro enfoque sobre el análisis de las políticas públicas presentado por Etzioni (2007), quien combina elementos de los dos anteriores. Esta perspectiva no se basa en deber ser como el racionalismo, tampoco es tan somero como el incrementalismo,

es una concepción que toma elementos de ambos enfoques, el autor lo llama exploración combinada.

Este enfoque precisa una forma de proceder muy particular para la recolección de información, una estrategia de asignación de recursos y directrices para vincularlas. Esta estrategia combina un análisis detallado de algunos sectores que resultan necesarios además de una revisión selectiva de otros. Este diseño, establece el autor, es más efectivo si se incluye un nivel que abarque todo el universo y un nivel de gran detalle en el que se explore las partes que han sido seleccionadas como interesantes. La exploración mixta no solamente propone una combinación de varios niveles sino también proporciona una serie de criterios para las situaciones en las que hay que enfatizar en uno u otro (Etzioni, 2007). Cada uno de los dos elementos de la exploración combinada permite reducir los efectos de las limitaciones del otro.

Debido a que la exploración combinada es flexible, se infiere que permite modificar la cantidad de recursos y tiempo destinados a la investigación para hacer las adaptaciones necesarias que se requieran en una situación específica. De esta manera, puede colaborar para que la política pública logre los objetivos específicos de cada situación particular, trazando los programas y seleccionando las acciones adecuadas.

El análisis de políticas públicas es un campo de estudio que está compuesto por una diversidad de disciplinas, teorías y modelos. Wildavsky (1979), determina este análisis como aquel que constituye un subcampo aplicado cuyos contenidos no pueden estar determinados por fronteras entre disciplinas, sino por aquello que parece adecuado según las circunstancias de la época y la naturaleza del problema. Las políticas públicas y los problemas públicos aportan un objetivo común para las ciencias sociales y para las áreas de actividad e investigación científica que involucradas en el contexto político dentro del cual se desarrollan. Este objetivo común se caracteriza por el carácter multidisciplinario del análisis de las políticas públicas y los problemas públicos, tales como las ciencias políticas, la filosofía, la economía, la psicología y la sociología. Además de estos enfoques, el análisis de políticas públicas requiere la comprensión del contexto histórico, legal, antropológico

y geográfico, el impacto de las técnicas aplicadas en el diseño, la implementación y la evaluación, lo cual mantendrá un enfoque nutrido de múltiples marcos analíticos y perspectivas que pueden influir en la interpretación de la información y los datos (Parsons, 2007).

Las políticas públicas conforman un campo que suele definirse por áreas o sectores. Es, en gran medida, dentro de ese panorama que tiene lugar la interacción interdisciplinaria e interinstitucional, además de proveer el contexto para los estudios comparados. Las siguientes son algunas áreas importantes de las políticas públicas: a) salud, b) transporte, c) educación, d) medioambiente, e) política social, f) vivienda, g) política económica, h) temas raciales, i) planeación urbana. El estudio de las políticas públicas exige ser consciente de la manera en que los distintos marcos de análisis definen y discuten los problemas, los desencuentros, las convergencias y los cambios (Parsons, 2007).

Una de las clasificaciones más adecuadas de este campo de estudio es precisada por Bobrow y Dryzek (1987) los cuales señalan que el análisis de políticas públicas comprende cinco principales marcos de análisis: 1) la economía del bienestar, 2) la elección pública, 3) la estructura social, 4) el procesamiento de la información, 5) la filosofía política.

En el mismo orden de ideas, resulta importante distinguir las dimensiones de la política para la construcción de límites alrededor de ellas. La política como estructura (*polity*) exige fijar la atención en el modo en el que se desarrollan los sucesos de una localidad, se refiere principalmente a las instituciones que establecen las reglas condicionantes y limitantes de la conducta de los actores gubernamentales y no gubernamentales. Explorarla como proceso (*politics*) se refiere a observarla como la secuencia de conductas individuales y colectivas, denota la competencia y negociación política entre los elementos que la conforman. La política como resultado (*policy*), se obtiene las respuestas que se dan a los conflictos sociales, es decir, corresponde a las políticas públicas, políticas gubernamentales y a la intervención sobre las relaciones sociales (Vallès, 2002).

Aguilar (1993), es el pionero de la conceptualización de políticas públicas en México, quien las define como aquellas decisiones de gobierno que incorporan la opinión, la participación, la corresponsabilidad y el dinero de los privados, en su calidad de ciudadanos electores y contribuyentes. Además establece que una de las principales aportaciones de las políticas públicas es precisamente rescatar el carácter público de las políticas, es decir, la intervención de actores diferentes al gubernamental en las políticas (sindicatos, organizaciones de la sociedad civil, empresas, iglesias, asambleas vecinales, etc.). Este ámbito público es el campo en el que los ciudadanos individuales, por sí mismos o por los voceros de sus organizaciones, hacen política y hacen las políticas.

El estudio de las políticas públicas, más que una disciplina se puede referir como una ciencia práctica, ya que su objetivo es proceder mediante la adopción de políticas, de forma que permita establecer procedimientos y diagnósticos acertado sobre situaciones particulares que permitan un mejor aprovechamiento de los recursos para la consecución de los objetivos planteados.

La diversidad de definiciones sobre políticas públicas refleja un pluralismo de escuelas teóricas y metodológicas que las abordan y para fortalecer la comprensión del fenómeno de políticas públicas se abordará la dimensión conceptual de éstas con algunos de los autores más reconocidos.

Mead (1995), capturó el alcance y el sentido de ese campo académico al escribir que una política pública es una aproximación al estudio de la política que analiza al gobierno a la luz de los asuntos públicos más importantes.

Cardozo (2006), las define como un fenómeno social, administrativo y político específico, resultado de un proceso de sucesivas tomas de posición, que se concretan en un conjunto de decisiones, acciones u omisiones, asumidas fundamentalmente por los gobiernos, mismas que traducen, en un lugar y periodo determinado, la respuesta preponderantemente del mismo frente a los problemas públicos vividos por la sociedad civil.

Anderson (1990), definió a una política pública como una secuencia intencionada de acción seguida por un actor o conjunto de actores a la hora de tratar con un asunto

que los afecta, son aquellas desarrolladas por cuerpos gubernamentales y sus funcionarios.

Canto (2002), señala que son cursos de acción tendentes a la solución de problemas públicos, definidos a partir de la interacción de diversos sujetos sociales, en medio de una situación de complejidad y de relaciones de poder, que pretenden utilizar de manera más eficiente los recursos públicos y tomar decisiones a través de mecanismos democráticos, con la participación de la sociedad.

Lahera (2004), señala que son acciones relacionadas con un objetivo público definido en forma democrática; los que son desarrollados por el sector público y, frecuentemente, con la participación de la comunidad y el sector privado (...) incluirá orientaciones o contenidos, instrumentos o mecanismos, definiciones o modificaciones institucionales, y la previsión de sus resultados.

Somit y Tanenhaus (1967), han considerado a la política pública como la totalidad de la acción gubernamental, mientras que Brewer y de León (1983), han la han definido como las decisiones más importantes de una sociedad y que consta de un proceso conformado por sistemas y niveles, articulado en seis etapas: iniciación, estimación, selección, implementación, evaluación y terminación.

Thoenig (1997), se ha referido a ellas como el trabajo de las autoridades investidas de legitimidad pública gubernamental y que abarca múltiples aspectos, que van desde la definición y selección de prioridades de intervención hasta la toma de decisiones, su administración y evaluación.

Sáenz (1997) las define como el conjunto de objetivos, decisiones y acciones que lleva a cabo un gobierno para solucionar los problemas que en un momento determinado los ciudadanos y el propio gobierno consideran prioritarios.

Merino (2013), establece que una política pública puede ser definida como una intervención deliberada del Estado para corregir o modificar una situación social o económica que ha sido reconocida como problema público, son las encargadas de definir y solucionar problemas públicos con el objeto de atender las demandas sociales, y de esta manera mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Laswell (1951), también nos entrega su conceptualización y nos señala que la política pública es un programa proyectado de valores, fines y prácticas.

Subirats (1989), no lleva a cabo una definición concreta y concisa, sino que va acotando sus características y cualidades para concluir considerando que estas normalmente implican una serie de decisiones. Decidir que existe un problema, decidir qué se debe intentar resolver, decidir la mejor manera de resolver, decidir legislar sobre el tema para continuar diciendo que este proceso de elaboración implica decisiones e interacciones entre individuos, grupos e instituciones, decisiones e interacciones influenciadas sin duda por las conductas, las disposiciones del conjunto de individuos, grupos y organizaciones afectadas.

Lindblom (1979) indica que nos estamos refiriendo a procesos, decisiones y resultados, pero sin que ello excluya conflictos entre intereses presentes en cada momento, tensiones entre diferentes definiciones del problema a resolver, entre diferentes racionalidades organizativas y de acción, y entre diferentes perspectivas. Estamos ante un panorama pleno de poderes en conflicto, enfrentándose y colaborando ante opciones específicas.

Caminal (1997), señala que al hablar de política pública hacemos alusión a todo aquello que los gobiernos deciden hacer o no hacer debido a que el no actuar también se considera paradójicamente en determinadas ocasiones como actuar del poder público.

Alcázar (1999), las define como toda decisión conformadora, en principio de carácter innovador, que va acompañada de las medidas necesarias para su seguimiento y ejecución.

Aguilar (1999), mientras impartía una conferencia en la Universidad Autónoma de Campeche, subrayó que las políticas públicas consisten en un proceso realizado por las autoridades legítimamente electas para resolver necesidades mediante la utilización de recursos públicos, mediante el cual también se vinculan las decisiones de gobierno con la administración pública, tendiendo siempre a la búsqueda de la racionalidad.

Hecló y Wildavsky (1979), consideran a la política pública como una acción gubernamental dirigida hacia el logro de objetivos fuera de ella misma.

Majone (1989), considera que es una actividad de comunicación pública y no solo de una decisión orientada a la consecución de metas (...) es también todo el conjunto de actividades post decisionales o retrospectivas que buscan aportar evidencias, argumentos y persuasión.

Finalmente Peters (1988), refiere que las políticas públicas son el conjunto de actividades de las instituciones de gobierno que, actuando directamente o a través de agentes, van dirigidas a tener una influencia determinada sobre la vida de los ciudadanos.

Así pues, una política pública implica el establecimiento de una o más estrategias orientadas a la resolución de problemas públicos así como a la obtención de mayores niveles de bienestar social resultantes de procesos y decisiones tomados a través de la participación de gobierno y sociedad civil, en donde se establecen medios, agentes y fines de las acciones a seguir para la obtención de los objetivos señalados. En las políticas públicas deben estar constituidas por aspectos institucionales, los fenómenos participativos, las fórmulas de representación y otros elementos relacionados con las dimensiones y rendimientos efectivos de la democracia, pero ante todo predomina un elemento central para su existencia que es la presencia de la autoridad gubernamental.

### **3.11. Política energética**

Probablemente no haya otra región en el planeta donde la energía y la política estén tan estrechamente relacionadas como en América Latina. Disponer de una compañía petrolera o una empresa de gas estatal se considera un signo de soberanía nacional. Esto no quiere decir que el resto de los países no tenga también una relación especial con sus materias primas, sobre todo cuando se trata de reservas estratégicas. AL no se diferencia del resto del mundo en este parecer básico, sino más bien en la medida en que se conectan entre sí la política y la energía.

La CEPAL (2003), establece que la política energética deriva de la política nacional de desarrollo. Indica que sus elementos componentes pueden agruparse en dos grandes conjuntos estrechamente vinculados: las políticas generales o transversales (de precios e ingresos, de empleo y formación de recursos humanos, financieras, comerciales, institucionales, tecnológicas, ambientales, etc.) y las políticas sectoriales (mineras, agropecuarias, forestales, industriales, energéticas, de transporte, etc.). Estas políticas están dirigidas a diseñar e impulsar una trayectoria de desarrollo nacional y, en tal sentido, están sometidas a condiciones de borde y deben desenvolverse en situaciones de poder compartido. Destaca que la política macroeconómica debería estar, en términos ideales, subordinada a la política de desarrollo, de modo tal que sea compatible con la trayectoria delineada por esta última. Sin embargo, las complejidades propias de las situaciones coyunturales alteran frecuentemente, esa coherencia ideal.

Concebida de este modo, la política energética es una política sectorial de la política socioeconómica. Sin embargo, en el caso de aquellos países, como México, donde las exportaciones de energéticos son un determinante esencial del desempeño macroeconómico, las decisiones o los objetivos vinculados a las mismas trascienden a la política sectorial energética.

Para Pistonesi y Chávez (2003), la política energética es una responsabilidad del Estado, el cual tiene la obligación ineludible de diseñar y poner en práctica una política energética activa. Es decir, no puede dejar en manos de los actores privados la asignación y el uso de los recursos a través de sus decisiones descentralizadas. De hacerlo así, la coincidencia de los intereses privados y sociales sólo podría darse si no existieran efectos externos a los mercados, no existieran recursos de propiedad común y las racionalidades fueran absolutamente iguales. Sin embargo, subrayan que esa situación hipotética se encuentra muy alejada de las realidades concretas y, en consecuencia, existen varias razones que justifican la necesidad de intervención del Estado en los sistemas energéticos por medio de políticas eficientes, tales como beneficios de carácter social global tendientes a mejorar la sustentabilidad del desarrollo, la producción de bienes esenciales para el funcionamiento del sistema

productivo y el bienestar de la población, la presencia de mercados marcadamente oligopólicos o monopólicos, el uso de bienes públicos, externalidades sociales y ambientales.

Sheinbaum (2008), establece que una política energética integral debe al menos incorporar los temas de seguridad en el suministro de energía, baja tasa de importaciones de acuerdo con las condiciones de cada país, bajo peso de los ingresos energéticos en el presupuesto público, tasa de restitución de reservas, cobertura de las necesidades energéticas básicas para la población, reducción de impactos ambientales, diversificación de las fuentes energéticas y aumento de la participación de las fuentes renovables de energía mediante un marco integral que incluya la transición energética necesaria hacia otras fuentes que disminuyan la dependencia del consumo de los hidrocarburos, minimicen los impactos ambientales y promuevan el uso eficiente y racional de los recursos no renovables.

El autor indica que en relación con fortalecimiento de las empresas públicas de energía, el objetivo debe ser restituir su integración, rediseñar un sistema de precios competitivo para restablecer la rentabilidad de la cadena productiva, otorgarle recursos económicos frescos que provengan de sus propios ingresos, restituir los proyectos e ingeniería nacionales y vincularlos con las entidades públicas de investigación y desarrollo científico y tecnológico en la materia. Menciona que debe generarse un nuevo sistema de precios dentro del sector energético, que esté sustentado en el costo de producción y la renta petrolera de cada país y no como actualmente se establece, con los precios de los hidrocarburos en los Estados Unidos.

Dentro de la modalidad de control central, la política energética se concreta por medio de decisiones directas del Estado sobre los energéticos y la asignación de los recursos, y la planificación energética tiene un carácter claramente normativo, constituía un instrumento que no está exento de conflictos y contradicciones en lo que se refiere a la formulación y aplicación de la política energética. Pistonesi y Chávez (2003), refieren que resulta claro que cuando se hace referencia al Estado, no es posible concebirlo como un actor único, internamente homogéneo, sino como

un conjunto de actores que muchas veces defienden visiones o intereses parcialmente divergentes o contradictorias. Normalmente, en la definición de políticas, a esas diferencias en el seno del aparato del Estado, se agregan las presiones de los partidos de oposición y de los diferentes grupos sociales.

En el mismo orden de ideas Linkohr (2006), refiere que una política energética normada por el Estado sobre el petróleo y el gas tiene dos caras, una favorable y otra no tanto. Entre los aspectos positivos, se destaca el hecho de que los ingresos provenientes de la extracción de petróleo y gas les otorgan a los países un margen mayor de acción, interno y externo. Señala que en algunos casos, como en México o Venezuela, los ingresos de las compañías petroleras estatales fluyen en gran parte hacia el presupuesto público y financian el Estado. El autor indica que la nacionalización impide, además, que las multinacionales (sobre todo las estadounidenses) se inmiscuyan indirectamente en los asuntos de política interna: funciona, por lo tanto, como una medida defensiva contra las intrusiones de las potencias extranjeras.

La CEPAL (2003), destaca que la política energética, como parte de los procesos formales de las políticas socioeconómicas, tiene que desenvolverse formalmente dentro de ese marco jurídico-institucional fundamental. De hecho, los propios procesos de reestructuración en algunos países han requerido para su formulación y ejecución de cambios en ese marco jurídico-institucional (caso de México), ya sea en el plano constitucional o a través de la promulgación de leyes generales de reforma del Estado.

Los procesos de reforma, como el caso de México con la reforma energética del año 2015, requirieron a su vez de instrumentos legales específicos que plasmaron una nueva organización productiva e institucional y el cambio de la normativa regulatoria. Esas acciones agregaron condiciones adicionales para la política energética en la medida que introducen cambios estructurales de largo plazo y modifican de manera profunda las funciones de los actores del sistema, incluido el rol del propio Estado, y, por tanto, la naturaleza de su intervención en las actividades productivas del sector (SHCP, 2015). Dicho sector en México se encuentra en un proceso álgido de

transición, por lo anterior se hace indispensable revisar el marco normativo y positivo vigente que regula la política energética nacional.

### **3.12. Política energética en México**

De acuerdo a Padilla (2007), la política energética de las últimas administraciones en México ha colocado en la cúspide de las prelações las metas económicas inmediatas. Los criterios sociales y ambientales son tomados en cuenta, cierto, pero se les concede una importancia secundaria. De ahí han surgido paradigmas técnico económicos con ventajas que difícilmente compensan los inconvenientes: en electricidad, centrales de ciclo combinado operando con gas natural bajo la figura de productor independiente; en hidrocarburos, proyectos de extracción y exportación de petróleo crudo antes de cualquier otra inversión; en refinación, reconfiguración del parque existente pero bloqueo sistemático a la construcción de nuevas refinerías; en fuentes renovables, inclusión marginal en los planes de expansión del sector eléctrico y aliento al desarrollo subsidiado y protegido de proyectos privados, mientras que en el plano sectorial el enfoque de oferta avasalla a la óptica de la demanda.

El autor señala que del dominio absoluto de ese criterio económico se deriva una serie de problemas, entre ellos déficit de gas natural, productos petrolíferos y petroquímicos, lo cual ejerce fuerte presión sobre la balanza comercial: pérdida de diversificación de fuentes de energía para generar electricidad; cadenas productivas desequilibradas; infraestructura insuficiente y con cuellos de botella; fuentes alternativas de energía muy poco utilizadas; ineficiencia y dispendio en el consumo de energía; proyectos al margen de las comunidades, daños sociales y ambientales.

Padilla (2007), refiere también, que la causa de los problemas actuales en el contexto energético se encuentran en la política energética dolosa, deliberadamente enfocada a exprimir financieramente a los organismos públicos y a crear desequilibrios. Pero subraya que también se trata de una política energética sesgada, que beneficia a unos cuantos, que alienta la apropiación privada de medios de producción, beneficios y rentas que derivan de los recursos naturales y

arquitecturas de mercado. Sostiene que esa política debe su existencia a la falta de contrapesos reales por parte del Poder Legislativo y la sociedad, carencia que le permite al Ejecutivo federal alejarse de una política de Estado, sustentable y de largo plazo.

Menciona que en la política energética en México existe una marcada debilidad institucional caracterizada por el peso determinante de la autoridad hacendaria en las decisiones del sector, la ausencia de una regulación técnica externa en las paraestatales, la poca coordinación entre ellos, la supervisión y los controles asfixiantes en el uso del presupuesto, la extrema debilidad política e insolvencia técnica de la autoridad de tutela, la interferencia política a la que está sometida la Comisión Reguladora de Energía (CRE) y la anteposición de intereses privados al interés público por parte de los sindicatos y los altos funcionarios públicos.

Hasta antes de la reforma energética aprobada en el año 2015, la política energética permitía el control total del Estado sobre los recursos energéticos con PEMEX como la única empresa autorizada para la exploración, producción y refinación del crudo para la producción de petrolíferos. De la mismo modo, la CFE y la extinta Luz y Fuerza del Centro eran las paraestatales encargadas de la producción y distribución de energía eléctrica, aunque un porcentaje de participación legal (establecido por la SENER) en la generación de electricidad por parte de empresas privadas es permitida y posteriormente vendida a la CFE para su distribución.

La política energética giraba entonces en torno a las paraestatales y sus organismos subsidiarios mientras que la SHCP dictaminaba sobre el uso de los recursos obtenidos por ellas y sus disposiciones presupuestarias participativas por sector energético. De esta manera las leyes del marco normativo estaban orientadas hacia al control central, el entorno internacional y el mercado nacional obedecían a una lógica diferente a las nuevas políticas energéticas vigentes desde el año 2015.

Con el nuevo marco legal de la Reforma Energética que entró en vigor en 2015, el sector energético se enfrenta a uno de los retos más importantes de las últimas cinco décadas: su renovación y funcionamiento eficiente. El gobierno en México establece que la trascendencia de esta Reforma radica en que permitirá el fortalecimiento de la

soberanía nacional a través de una mayor seguridad energética, además, impulsará un rápido crecimiento económico, generando oportunidades de desarrollo y empleo para cientos de miles de mexicanos.

Una de las grandes transformaciones derivadas de la Reforma Energética, es que la industria eléctrica operará a través de un mercado de energía en el que participen empresas públicas y privadas en igualdad de condiciones, con el fin de ofrecer electricidad a precios competitivos para la industria, los servicios y el campo, y más asequibles para las familias. Con el aseguramiento del abasto racional de energía eléctrica a lo largo del país se mantiene una estrategia fundamental para dar una mejor calidad de vida a los mexicanos (SENER, 2016).

La política energética 2015-2029 en México se divide en cuatro ejes:

#### 1.- Prospectiva Petróleo Crudo y Petrolíferos

La Reforma Energética, promulgada en diciembre de 2013, implicó la transformación del marco legal e institucional bajo el cual se regía la planeación del sector energético en México. Las nuevas leyes y reglamentos derivadas de la misma, permiten la entrada de empresas privadas, nacionales o extranjeras, para invertir en México en la exploración y extracción de hidrocarburos: petróleo, gas y sus derivados. En este sentido, fue necesario la creación de nuevas entidades regulatorias para desconcentrar de PEMEX la administración de infraestructura estratégica con la finalidad de que empresas privadas, nacionales e internacionales, hagan uso de ella y así ofrecer los servicios que fueron exclusividad de la ahora PEMEX convertida en Empresa Productiva del Estado.

#### 2.- Prospectiva de las energías renovables

En relación a las energías renovables, la reforma energética tiene los siguientes beneficios:

- Crea los certificados de energías limpias.
- Elimina barreras que inhiben el crecimiento de las energías renovables
- Facilita la comercialización de energías renovables

- Crea mecanismos para la interconexión sin demoras ni sobrecostos de la generación distribuida
- Establece mecanismos que permiten financiar nuevos proyectos de energías renovables
- Crea un marco normativo para consultas y evaluación de impacto social

### 3.- Prospectiva del sector eléctrico

Posterior a la aprobación de la reforma eléctrica, se han llevado a cabo una serie de cambios estructurales en el sector eléctrico, que buscan cumplir uno de los objetivos, el de ofrecer energía eléctrica de mayor calidad, de menor costo y más amigable con el medio ambiente. Para ello se requiere que la Planeación del Sector Eléctrico sea estratégica y permita aumentar la productividad y el crecimiento económico del país. Así, bajo el párrafo sexto del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la planeación le corresponde exclusivamente a la Nación. Por mandato del Artículo 25 de la misma, y en cumplimiento del artículo 14 de la Ley de la Industria Eléctrica, la Secretaría de Energía emite el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional (PRODESEN), que representa un instrumento para llevar a cabo esta actividad estratégica. Este programa sustituye al documento elaborado por la CFE, el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE), como herramienta de planeación y, con su publicación en junio de 2015, es la principal referencia para la elaboración de esta Prospectiva.

Como se puede observar en algunos de los puntos de los ejes rectores de la política energética en México, se advierte la caída de las reservas de petróleo, lo cual puede resultar positivo si se realzan acciones para frenarla o revertirla. La tendencia parece ser positiva en el sentido de la promulgación de Leyes que suponen la puesta en práctica de alternativas energéticas que provean al mercado de energía. Tal parece que de acuerdo a la normatividad, se intenta aprovechar el potencial que se tiene en México en cuanto a energías limpias. El análisis de la política energética actual puede darse en el sentido de los beneficios que la matriz energética nacional llegaría a tener para hacer crecer la oferta de energía, pero no necesariamente la producida

con fuentes fósiles convencionales, de acuerdo a las disposiciones del Plan Nacional de Desarrollo, de la Ley General de Cambio Climático y de la Ley de Transición Energética, la apertura comercial dará pie a un mayor número de productores de energía emanada de fuentes renovables, además, de acuerdo a dichas Leyes, se crean incentivos como los Certificados de Energías Limpias para que se busque la producción de este tipo de energía, lo cual se traducirá en beneficio económico.

Es importante señalar que la norma obliga en estas Leyes a cumplir con cierta cantidad de energías limpias producidas por parte del Estado, lo cual sugiere que existe una mayor sensibilidad de los tomadores de decisiones sobre las afectaciones causadas por las externalidades que produce la energía y al paulatino cambio de modelo energético, que en otros países de AL como Costa Rica ya sucede.

### **Plan nacional de desarrollo**

Además del instrumento normativo que da rumbó específico en lo referente al sector energético, el Plan Nacional de Desarrollo (PND) traza los grandes objetivos de las políticas públicas, permite orientar las políticas y programas del Gobierno, establece las acciones específicas para alcanzarlos y precisa indicadores que permitirán medir los avances obtenidos.

Dentro del objetivo general del PND se menciona que la protección de los recursos naturales, es uno de los puntos importantes que forman parte integral de la visión que se tiene para alcanzar dicho potencial, lo cual es importante en el contexto de ésta investigación puesto dentro de la descripción del problema se indica que los recursos energéticos del subsuelo, de no ser protegidos, se pueden agotar en un periodo corto debido a la entrada de múltiples compañías nacionales e internacionales para extraerlos. En el mismo orden de ideas, dentro de la meta "México Próspero", en el apartado "Desarrollo sustentable" se menciona que durante la última década, los efectos del cambio climático y la degradación ambiental se han intensificado. Las sequías, inundaciones y ciclones entre 2000 y 2010 han ocasionado alrededor de 5,000 muertes, 13 millones de afectados y pérdidas económicas por 250,000 millones de pesos.

En el mismo apartado establece que el mundo comienza a reducir la dependencia que tiene hacia los combustibles fósiles con el impulso del uso de fuentes de energía alternativas, lo que ha fomentado la innovación y el mercado de tecnologías, tanto en el campo de la energía como en el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Sostiene que México participa en más de 90 acuerdos y protocolos vigentes, siendo líder en temas como cambio climático y biodiversidad. Señala que el crecimiento económico del país sigue estrechamente vinculado a la emisión de compuestos de efecto invernadero, generación excesiva de residuos sólidos, contaminantes a la atmósfera, aguas residuales no tratadas y pérdida de bosques y selvas. De acuerdo al documento, el costo económico del agotamiento y la degradación ambiental en México en 2011 representó 6.9% del PIB, menciona además que ello implica retos importantes para propiciar el crecimiento y el desarrollo económicos, a la vez asegurar que los recursos naturales continúen proporcionando los servicios ambientales de los cuales depende nuestro bienestar:

Dentro de la misma meta trazada por el PND, en el apartado de "energía" se indica que el uso y suministro de energía son esenciales para las actividades productivas de la sociedad. Su escasez derivaría en un obstáculo para el desarrollo de cualquier economía. Por ello, es imperativo satisfacer las necesidades energéticas del país, identificando de manera anticipada los requerimientos asociados al crecimiento económico y extendiéndolos a todos los mexicanos, además de los beneficios que derivan del acceso y consumo de la energía. Precisa que en México, la producción de energía primaria registró una disminución promedio anual de 0.3% entre 2000 y 2011, mientras que el consumo de energía creció a un promedio anual de 2.1% en el mismo periodo. Por tanto, se deben redoblar los esfuerzos para que el país siga siendo superavitario en su balanza de energía primaria.

Establece que en materia de hidrocarburos, desde hace más de tres décadas la producción en México ha sido superior a la incorporación de reservas probadas y probables. Aun cuando la actividad exploratoria fue el doble de lo observado en años recientes, los niveles de incorporación de reservas no se han reflejado en volúmenes que permitan tener una reposición de los barriles producidos. Afirma que se requiere

un nuevo marco institucional que permita al Estado aumentar su capacidad para producir energía más barata y de manera más eficiente, a fin de asegurar el abasto para la economía. Refiere que la demanda nacional de gasolinas y diesel ha aumentado como resultado del incremento del parque vehicular y las necesidades de transporte lo cual ha creado un déficit en el abasto de energéticos, que ha sido cubierto con crecientes importaciones.

En este contexto, tecnologías de generación que utilicen fuentes renovables de energía deberán contribuir para enfrentar los retos en materia de diversificación y seguridad energética, sin embargo, y a pesar del potencial que existe para desarrollarlas y del rápido crecimiento en el uso de este tipo de energías, en el presente, su aportación al suministro energético nacional es apenas el 2% del total (SENER, 2015). Tal parece que en PND no existe una estrategia para fomentar el uso de energías renovables a pesar del reconocimiento del déficit energético y del creciente consumo de energía. Sin embargo si está considerada la desregulación, la cual argumentan, incrementará la producción de energía primaria en la que se incluye al petróleo, no obstante, no se contempla la búsqueda de nuevas reservas de hidrocarburos que aseguren el abastecimiento y el no agotamiento prematuro de los recursos energéticos no renovables del subsuelo.

En el mismo orden de ideas, dentro de los "objetivos, estrategias y líneas de acción"; "estrategias y líneas de acción transversales"; "México próspero" del PND, se establece en el objetivo 4.4.1.: Implementar una política integral de desarrollo que vincule la sustentabilidad ambiental con costos y beneficios para la sociedad, así como las siguientes líneas de acción relevantes:

- Actualizar y alinear la legislación ambiental para lograr una eficaz regulación de las acciones que contribuyen a la preservación y restauración del medio ambiente y los recursos naturales.
- Promover el uso y consumo de productos amigables con el medio ambiente y de tecnologías limpias, eficientes y de bajo carbono.
- Establecer una política fiscal que fomente la rentabilidad y competitividad ambiental de nuestros productos y servicios.

- Promover esquemas de financiamiento e inversiones de diversas fuentes que multipliquen los recursos para la protección ambiental y de recursos naturales.
- Impulsar la planeación integral del territorio, considerando el ordenamiento ecológico y el ordenamiento territorial para lograr un desarrollo regional y urbano sustentable.
- Impulsar una política en mares y costas que promueva oportunidades económicas, fomente la competitividad, la coordinación y enfrente los efectos del cambio climático protegiendo los bienes y servicios ambientales.
- Orientar y fortalecer los sistemas de información para monitorear y evaluar el desempeño de la política ambiental.
- Colaborar con organizaciones de la sociedad civil en materia de ordenamiento ecológico, desarrollo económico y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.

Dentro de la estrategia 4.4.3.: Fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado al medio ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono, se establecen las siguientes líneas de acción:

- Ampliar la cobertura de infraestructura y programas ambientales que protejan la salud pública y garanticen la conservación de los ecosistemas y recursos naturales.
- Desarrollar las instituciones e instrumentos de política del Sistema Nacional de Cambio Climático.
- Acelerar el tránsito hacia un desarrollo bajo en carbono en los sectores productivos primarios, industriales y de la construcción, así como en los servicios urbanos, turísticos y de transporte.
- Promover el uso de sistemas y tecnologías avanzados, de alta eficiencia energética y de baja o nula generación de contaminantes o compuestos de efecto invernadero.
- Impulsar y fortalecer la cooperación regional e internacional en materia de cambio climático, biodiversidad y medio ambiente.

- Realizar investigación científica y tecnológica, generar información y desarrollar sistemas de información para diseñar políticas ambientales y de mitigación y adaptación al cambio climático.
- Lograr el ordenamiento ecológico del territorio en las regiones y circunscripciones políticas prioritarias y estratégicas, en especial en las zonas de mayor vulnerabilidad climática.
- Continuar con la incorporación de criterios de sustentabilidad y educación ambiental en el Sistema Educativo Nacional, y fortalecer la formación ambiental en sectores estratégicos.
- Contribuir a mejorar la calidad del aire, y reducir emisiones de compuestos de efecto invernadero mediante combustibles más eficientes, programas de movilidad sustentable y la eliminación de los apoyos ineficientes a los usuarios de los combustibles fósiles.

Nuevamente parece un panorama prometedor, con sensibilidad, pero para lograr algunos de los desafíos de las líneas de acción sería necesario plantear un cambio de modelo energético, con políticas públicas que incentiven el desarrollo de energías limpias, de lo contrario, si se continúa con el modelo energético actual, se vislumbra un panorama difícil para alcanzar las metas de sustentabilidad y cambio climático.

Dentro de la Estrategia 4.4.4.: Proteger el patrimonio natural, las líneas de acción relevantes son:

- Promover la generación de recursos y beneficios a través de la conservación, restauración y aprovechamiento del patrimonio natural, con instrumentos económicos, financieros y de política pública innovadores.
- Incrementar la superficie del territorio nacional bajo modalidades de conservación, buenas prácticas productivas y manejo regulado del patrimonio natural.

En este sentido, los recursos energéticos del subsuelo se deben considerar patrimonio natural con el objeto de su inclusión como parte de las líneas de acción del PND para su conservación y aprovechamiento racional.

En el Objetivo 4.6., abastecer de energía al país con precios competitivos, calidad y eficiencia a lo largo de la cadena productiva, dentro de la Estrategia 4.6.1. "Asegurar el abastecimiento de petróleo crudo, gas natural y petrolíferos que demanda el país", las líneas de acción relevantes para la presente investigación son:

- Promover la modificación del marco institucional para ampliar la capacidad del Estado Mexicano en la exploración y producción de hidrocarburos, incluidos los de yacimientos no convencionales como los lutita.
- Fortalecer la capacidad de ejecución de Petróleos Mexicanos.
- Incrementar las reservas y tasas de restitución de hidrocarburos.
- Elevar el índice de recuperación y la obtención de petróleo crudo y gas natural.
- Fortalecer el mercado de gas natural mediante el incremento de la producción y el robustecimiento en la infraestructura de importación, transporte y distribución, para asegurar el abastecimiento de energía en óptimas condiciones de seguridad, calidad y precio.
- Incrementar la capacidad y rentabilidad de las actividades de refinación, y reforzar la infraestructura para el suministro de petrolíferos en el mercado nacional.
- Promover el desarrollo de una industria petroquímica rentable y eficiente.

Como se puede observar en las líneas de acción, se pretende reforzar la infraestructura de importación aunque ello le represente un gasto elevado al Estado, además, se pretende fortalecer la capacidad de ejecución de Petróleos Mexicanos, sin embargo, el reciente recorte presupuestal a PEMEX sugiere que eso no pueda ser posible.

Por último, en la Estrategia 4.6.2.: Asegurar el abastecimiento racional de energía eléctrica a lo largo del país, se marcan las siguientes líneas de acción relevantes:

- Impulsar la reducción de costos en la generación de energía eléctrica para que disminuyan las tarifas que pagan las empresas y las familias mexicanas.
- Diversificar la composición del parque de generación de electricidad considerando las expectativas de precios de los energéticos a mediano y largo plazos.

- Promover el uso eficiente de la energía, así como el aprovechamiento de fuentes renovables, mediante la adopción de nuevas tecnologías y la implementación de mejores prácticas.

De acuerdo al PND se puede observar la importancia que le da el gobierno de México a la sustentabilidad, a las fuentes de energía como patrimonio nacional, a la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub>, al cambio climático y a varios factores que hoy en día se consideran prioritarios en las agendas de gobierno para el diseño e implementación de políticas públicas responsables y comprometidas con la coyuntura energética nacional e internacional.

### **Ley de transición energética**

Además de estar contenidas en el PND, las estrategias energéticas nacionales también se encuentran en leyes que aseguren su cumplimiento. La Ley de transición energética tiene por objeto regular el aprovechamiento sustentable de la energía así como establecer las obligaciones en materia de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes de la Industria Eléctrica, manteniendo la competitividad de los sectores productivos. La Ley comprende:

- Prever el incremento gradual de la participación de las Energías Limpias en la Industria Eléctrica con el objetivo de cumplir las metas establecidas en materia de reducción de emisiones.
- Facilitar el cumplimiento de las metas de Energías Limpias y Eficiencia Energética.
- Incorporar las externalidades en la evaluación de los costos asociados a la operación y expansión de la Industria Eléctrica.
- Establecer mecanismos de promoción de energías limpias y reducción de emisiones contaminantes.
- Reducir, bajo condiciones de viabilidad económica, la generación de emisiones contaminantes en la generación de energía eléctrica.
- Apoyar el objetivo de la Ley General de Cambio Climático, relacionado con las metas de reducción de emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero y de generación de electricidad provenientes de fuentes de energía limpia.

- Promover el aprovechamiento sustentable de la energía en el consumo final.
- Promover el aprovechamiento energético de recursos renovables.
- En la Ley se prevé que se debe generar una estrategia en la cual se establecerán políticas y medidas para impulsar el aprovechamiento energético de recursos renovables y para la sustitución de combustibles fósiles en el consumo final.

Como se puede observar, la presente investigación puede ser de alguna manera una fuente de consulta en sintonía con los objetivos de la Ley de Transición Energética, ya que brinda herramientas tener una perspectiva más amplia sobre las fuentes de energía convencionales y no convencionales.

### **Ley general de cambio climático**

Esta ley tiene por objeto: Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la Federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero.

Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2o. de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma.

- Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático
- Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático
- Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático
- Promover la transición hacia una economía, sustentable y de bajas emisiones de carbono

Para lograr lo anterior, la Ley señala que son atribuciones de la federación la elaboración, coordinación y aplicación de los instrumentos de política pública para la preservación, restauración, conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Además, se debe Fomentar la investigación científica y tecnológica, el desarrollo, transferencia y despliegue de tecnologías, equipos y procesos para la mitigación y adaptación al cambio climático; Promover la participación corresponsable de la sociedad; Promover la participación corresponsable de la sociedad; Formular y adoptar metodologías y criterios que brinden la información necesaria de fuentes emisoras tales como la generación y uso de energía, el transporte, la agricultura, ganadería, bosques, los residuos y los procesos industriales. También señala que se deben elaborar y promover metodologías para la valoración económica de las emisiones; Establecer las bases e instrumentos para promover y apoyar el fortalecimiento de la competitividad de los sectores productivos transitando hacia una economía sustentable de bajas emisiones de carbono; Diseñar y promover ante el establecimiento y aplicación de instrumentos económicos, financieros y de mercado vinculados a las acciones en materia de cambio climático.

En cuanto a la Política Nacional de Cambio Climático contemplada en la Ley, se observarán los principios de: Sustentabilidad en el aprovechamiento o uso de los ecosistemas y los elementos naturales; Corresponsabilidad entre el Estado y la sociedad en general; prevención ante el cambio climático; Adopción de patrones de producción y consumo por parte de los sectores público, social y privado para transitar hacia una economía de bajas emisiones en carbono; Participación ciudadana, en la formulación, ejecución, y evaluación de los planes y programas de mitigación; Responsabilidad ambiental; El uso de instrumentos económicos en la mitigación, adaptación y reducción de la vulnerabilidad ante el cambio climático.

Esta ley también plantea objetivos similares a los de la Ley de transición energética en el sentido de buscar e incentivar la participan ciudadana y la investigación que brinde datos económicos para conocer alternativas, mitigar el cambio climático y disminuir el uso de los combustibles fósiles.

## CAPÍTULO 4

### REVISIÓN DE LA LITERATURA EMPÍRICA

Con respecto al ACB de las energías renovables frente a los combustibles fósiles existen diversas investigaciones, las cuales permiten observar qué tan competitivas son estas fuentes de energía desde el punto de vista económico y cuáles son sus beneficios y costos ambientales.

#### 4.1. La competitividad económica y ambiental de las energías

Coviello (2003), investigador experto en energía de la División de Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL, considera que sería constructivo orientarse hacia posiciones proactivas, intentando demostrar y evidenciar los aspectos positivos y los beneficios comparativos de las fuentes de energía renovables en relación con otras. Para esto es necesario un importante esfuerzo creativo en los ámbitos económico, financiero, regulatorio y político pues resulta evidente que la tarea primaria de las energías renovables para el futuro deberá enfocarse en alcanzar la competitividad en el mercado liberalizado de la energía, labor que no será de fácil alcance en el corto plazo, si es que el precio es el único factor de comparación, como se muestra en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1 Costos de generación y requerimientos de inversión

TECNOLOGÍA	COSTO PROMEDIO DE GENERACIÓN (US\$/kWh)	INVERSIÓN PROMEDIO (US\$ /Watt)
Ciclo combinado a gas	3,5 (3.0 – 4.0)	0,6 (0.4 – 0.8)
Carbón	4,8 (4.0 – 5.5)	1,2 (1.0 – 1.3)
Nuclear	4,8 (2.4 – 7.2)	1,8 (1.6 – 2.2)
Eólico	5,5 (3.0 – 8.0)	1,4 (0.8 – 2.0)
Biomasa (25 MW combustión)	6,5 (4.0 – 9.0)	2,0 (1.5 – 2.5)
Geotermia	6,5 (4.5 – 8.5)	1,5 (1.2 – 1.8)
Pequeñas Hidroeléctricas	7,5 (5.0 – 10.0)	1,0 (0.8 – 1.2)
Fotovoltaica	55.0 (30.0 – 80.0)	7,0 (6.0 – 8.0)

Fuente: elaboración propia con los datos del autor tomados de bases de datos internacionales (IEA, EREC, USDOE)

De acuerdo a los resultados del cuadro anterior, es evidente que los costos de las fuentes de energía renovables exceden a los costos de los combustibles fósiles en forma significativa (por ejemplo: el costo de generar 1 KWh por medio de la biomasa es el doble que el costo de hacerlo con gas natural y su inversión es tres veces superior por MW instalado). Sin efectivamente podrán bajar sus costos las energías renovables aprovechando su curva de aprendizaje, esta curva representa el resultado concreto del proceso de “aprender a hacer” de una cierta aplicación tecnológica a nivel industrial (Coviello, 2003).

El autor añade que al observar los costos promedio de las externalidades en la Unión Europea (descritos en el cuadro 4.2), resulta evidente que de incorporarse éstos en la estructura de precios de los combustibles fósiles, el nivel de competitividad económica de las fuentes renovables (así como de la nuclear) se vería mejorado en forma significativa.

Cuadro 4.2 Costos de externalidad ambiental en la unión europea (valores promedio)

Tecnología	Miles de Euros/kWh
Eólica	2.5
Biomasa	2
Nuclear	5
Gas natural	20
Petróleo	48
Carbón	40

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos por el autor de diferentes fuentes internacionales

Algunos autores han realizado Análisis comparativos sobre las energías renovables de la matriz energética, contrastando los resultados de centrales con base en combustibles fósiles. Tal es el caso de Galetovic y Muñoz (2008), quienes centran su investigación señalando que reemplazar una central a carbón de 250 MW con energía eólica no resulta conveniente, puesto que para reemplazarla, se necesita invertir poco más de cuatro veces en turbinas de viento, tal como se muestra en el cuadro 4.3.

Cuadro 4.3 Inversión para la generación de electricidad

Tecnología	Inversión US\$
Central a carbón	500 millones
Central eólica	2124 millones

Fuente: Elaboración propia con datos del autor

Indican que para calcular el costo de inversión basta con multiplicar el número de kilowatts de potencia por el costo por kW, una magnitud habitualmente disponible. Una vez realizado el cálculo, el costo de la inversión en una central eólica sobrepasa a los ahorros de combustible en 25 años y cualquier ingreso que se pudiera recibir por créditos de carbono.

En este sentido no se muestran optimistas con las fuentes renovables eólicas y mencionan que los cálculos realizados indican que el costo de generar energía con viento está muy por encima del costo de generar energía con carbón, aún si se consideran los costos ambientales locales y globales que generan las emisiones, y aclaran que otro factor en contra de la energía eólica son las consecuencias de que el viento sea una fuente de energía volátil que a veces sopla y otras veces no.

Las estimaciones del costo de la capacidad eólica no son muy precisas y pueden variar por diferencias de escala, de costo del suelo y de costos de construcción. Moreno (2007) estima que cada kW cuesta entre US\$ 1100 y US\$ 1500. Santana (2006), por su parte, da un rango entre US\$ 1200 y US\$ 1800. En los Estados Unidos Bolinger y Wiser (2008), afirman que el costo por kW de turbinas instaladas en 2007 varió entre US\$ 1240 y US\$ 2600, siendo la media US\$ 1710. Sin embargo, el costo ha ido aumentando en años recientes, principalmente por el aumento del precio de las turbinas.

Ahora bien, para cuantificar el efecto de una planta eólica en el Sistema Interconectado Central, es necesario considerar que cada planta eólica instalada deberá sustituir a una que use combustibles fósiles. Por eso tiene pleno sentido comparar el costo de generar energía con viento y el costo de generar con carbón.

Pavez (2008), establece que para comparar el costo de generar electricidad con carbón y viento es necesario parametrizar una serie de costos y variables estratégicos, tales como: el costo de la capacidad instalada eólica; las estimaciones de factores de planta eólicos; la variabilidad del viento y el costo del daño marginal causado por las emisiones de CO<sub>2</sub>.

El Cuadro 4.4 muestra el estudio de los costos estimados por el autor, de construir un parque eólico considerando las turbinas, su instalación y el costo de las obras civiles.

Cuadro 4.4 Costo de inversión parque eólico

Indicadores	Parque de 57.75 MW	Parque de 90.75 MW	Parque de 173.25 MW
<b>Costo de las turbinas US\$</b>			
Turbinas y torres	59,500,000	93,500,000	178,500,000
Contenedores	1,595,864	2,507,786	4,787,591
Sistemas de control remoto	220,121	345,904	660,362
Componentes de instalación	1,119,423	1,759,093	3,358,268
Herramientas para la instalación	487,641	766,293	1,462,923
Flete	39,377,310	61,878,630	118,131,930
Supervisión de la instalación (120 días)	1,182,426	1,182,426	1,182,426
Mantenimiento y servicio (dos años)	802,753	802,753	802,753
<b>Costo total de las turbinas</b>	<b>104,285,537</b>	<b>162,742,884</b>	<b>308,886,252</b>
<b>Costos de construcción US\$</b>			
Líneas de transmisión subterráneas (15 kV)	2,171,600	3,227,600	5,867,600
Transformador y fundaciones para turbinas	8,051,300	12,649,300	24,144,300
Electricidad de bajo voltaje	145,800	233,800	453,800
Instalación de turbinas y torres	7,431,550	12,304,550	24,487,050
Subestación	1,665,000	1,665,000	1,665,000
Línea de transmisión (110 kV)	1,595,000	1,595,000	1,595,000
Preparación de terrenos y caminos	666,700	688,700	743,700
Conexión al nodo	316,000	316,000	316,000
Costos indirectos	13,596,300	20,834,300	38,929,300
<b>Costo total de construcción</b>	<b>35,639,250</b>	<b>53,514,250</b>	<b>98,201,750</b>
<b>Costo total del parque eólico US\$</b>	<b>139,924,787</b>	<b>216,257,134</b>	<b>407,088,002</b>
<b>Costo total por MW instalado (US\$)</b>	<b>2,423,000</b>	<b>2,383,000</b>	<b>2,349,700</b>

Fuente: elaboración propia con datos del autor

En tabla anterior se puede observar que a medida que el tamaño del parque aumenta, su costo total también lo hace, sin embargo, se debe puntualizar que en la misma medida en que la capacidad de generación aumenta, el costo por MW instalado disminuye, situándose éste, como un indicador representativo que sirva de referencia para realizar un análisis comparativo.

El número de estudios que han estimado el costo del daño marginal causado por una tonelada de carbono es grande y el rango de variación de las estimaciones amplio. Tol (2005), establece que los costos de las emisiones de carbono deben ser de al menos \$ 50/tC, ya que en su investigación compara los resultados de 28 estudios hechos por 18 equipos independientes de académicos, encontrando una media de las estimaciones del daño marginal causado por una tonelada de carbono de US\$ 86/tC. Sin embargo, considerando solamente aquellos estudios publicados en revistas académicas con referato anónimo de pares, la media cae a US\$ 43/tC lo cual equivale, utilizando el factor descrito anteriormente, a US\$ 10.75/MWh (US\$ 43x0.25). Por lo que concluye que es improbable que el costo del daño marginal causado por las emisiones de una central a carbón exceda los US\$ 13.6/tCO<sub>2</sub> o US\$ 12.5/MWh.

Nordhaus (2008), estima que el costo del daño causado por las emisiones debe ser de US\$ 27/tC en valor presente al año 2005, y que este costo aumenta entre 2 y 3% cada año. Así, el costo del daño causado por una tonelada de carbono emitida en 2016 sería US\$ 35/tC, equivalente a US\$ 8.75/MWh.

En el mismo orden de ideas, Galetovic y Muñoz (2008), muestran los resultados de su ACB realizado a un parque eólico de 250 MW en valor presente a 25 años, con un factor de planta que representa la fracción de la capacidad máxima que efectivamente se genera, realizan el cálculo del KW nominal de potencia eólica a un costo de US\$ 2350, y del KW nominal de potencia con carbón a un costo de US\$ 2000 y con factor de planta de 85%. El valor del crédito de carbono se toma de US\$ 13.6/t de CO<sub>2</sub>, valor que se obtiene suponiendo que el daño marginal que causa una tonelada de carbono es igual a US\$ 50. Lo cual se puede observar en el cuadro 4.5.

Cuadro 4.5 Análisis Costo-Beneficio de un parque eólico en valor presente a 25 años

<b>Costo-Beneficio</b> Generación: 250 MW Factor de planta promedio (24%)	<b>Millones de US\$</b>
<b>Costos</b>	
Inversión en turbinas eólicas	212
Costo de operación	148
Costos transmisión	74
Inversión en turbina diesel	-
<b>Total Costos</b>	<b>434</b>
<b>Beneficios</b>	
Ahorro en operación planta de carbón de 250 MW	50
Ahorros de combustible (25 años)	53
Créditos de carbono (25 años)	23
<b>Total beneficios (en 25 años)</b>	<b>126</b>
<b>Costo total</b>	<b>308</b>

Fuente: elaboración propia con datos de los autores

Del ejercicio anterior los autores concluyen que existe una desventaja de la energía eólica por sus factores de planta promedio (capacidad máxima efectiva de generación) y por ello, es necesario invertir alrededor de cuatro veces más para generar la misma energía. Sin embargo, también existen beneficios como el ahorro en la operación de planta, los créditos de carbono y los ahorros de combustible que se puede cuantificar, restando al costo total de inversión un porcentaje significativo del 29%.

En la misma dinámica, los autores realizan el cálculo del costo promedio al generar energía eléctrica en una central de carbón, llegando a la conclusión antes mencionada, es más económico generar energía eléctrica en una central de carbón. Los resultados se pueden observar en el siguiente cuadro:

Cuadro 4.6 Costo promedio por MWh generado con carbón

Tecnología de generación Generación: 250 MW Factor de planta promedio (85%)	Millones de US\$
<b>Carbón</b>	
Costos de operación	36
Costo de inversión planta	29
Costos transporte HVDC	--
Costo por emisión de CO <sub>2</sub>	12.5
<b>Costo total</b>	<b>77.5</b>

Fuente: elaboración propia con datos de los autores

En los cuadros 4.5 y 4.6, se puede advertir que la diferencia entre el costo de la energía eólica y del carbón es significativa. La desventaja del viento se debe principalmente a que el costo de inversión es alto y a su bajo factor de planta. Sin embargo, también se puede observar que en el caso de la planta de carbón, no existen indicadores benéficos como el ahorro de combustible o los créditos de carbono que incidan directamente en la amortización de una central con esta tecnología, lo cual a largo plazo, podría representar una ventaja competitiva para la energía eólica.

Los costos y beneficios no solo se generan en la producción de energías limpias o evitando que se consuman gasolinas fósiles. González (1996), presenta un ejercicio que ilustra cómo le asigna un valor monetario a los costos y a los beneficios ambientales de las alternativas de reciclaje en el caso de los envases de aluminio. Señala que el reciclaje es considerado como una opción a incentivar debido a sus beneficios ambientales, ya que mitiga la escasez de recursos naturales vírgenes, disminuye los riesgos de enfermedades y de alteración de ecosistemas, reduce la demanda de espacio en tiraderos y generalmente involucra ahorros en el consumo de energía. Además contribuye a reducir el impacto ambiental de la disposición de desechos sólidos y las emisiones a la atmósfera.

Los costos ambientales netos del reciclaje los expresa en la siguiente ecuación:

$$\text{CANR} = (\text{CAT.R} + \text{CAP.R}) - \text{CAV}$$

Donde:

CANR = Costos Ambientales Netos del Reciclaje

CAT.R = Costos Ambientales por la Recolección, Separación y Transporte al lugar de Reciclaje

CAP.R = Costos Ambientales Asociados al Reprocesamiento del Material a Reciclar

CAV = Costos Ambientales Netos de la Producción de Materias Vírgenes.

De acuerdo a la formula desarrollada por el autor, éste obtuvo los siguientes resultados:

Cuadro 4.7 Ahorros como resultado del reciclaje de una tonelada de aluminio

Tipo de material	Contención o Ahorro
Materias primas	4 ton. de bauxita
Agua	91,200 lt
Energía eléctrica	14.63 MWh
Emisión de contaminantes	Dióxidos sulfúricos, lluvia ácida
Desechos sólidos	349,74 kg
Otros residuos	1,646 kg lodos rojos

Fuente: Elaboración propia con datos del autor obtenidos en Gobierno del estado de Coahuila, 1997 y SEDESOL, 1993.

El autor precisa que la valoración económica de los bienes y atributos naturales tiene como fundamento la idea de que en sus preferencias los individuos incluyen a su entorno natural, los bienes y servicios comercializables así como otros bienes que al igual que el medio ambiente, no tienen un mercado establecido. Indica que existen diversos métodos de valoración económica de los bienes y atributos ambientales. El que se usa en este ejercicio, señala el autor, es el de Transferencia de Beneficios, debido a que en México no existen indicadores monetarios de externalidades asociadas al destino final de los desechos sólidos.

Además de mostrar el ahorro generado por el reciclaje, el autor muestra un estudio realizado al transporte y a las externalidades que este produce en el traslado de los de la materia prima al lugar de fundición, asociando un valor por cada tonelada de

material que transporta con algún tipo de externalidad. Lo anterior se puede observar en el cuadro 4.8.

Cuadro 4.8 Valores unitarios de externalidades del transporte

Externalidad	\$/Ton
Contaminación	0.80
Accidentes	2.77
Impactos del transporte	3.58

Fuente: Elaboración propia con datos del autor obtenidos de Brisson y Powell (1995)

Resulta importante puntualizar que en su estudio las externalidades positivas fueron aquellas resultantes del ahorro de energía eléctrica en el proceso de reciclaje del material. Mientras que las externalidades negativas fueron consideradas aquellas que genera el transporte del aluminio al lugar de procesamiento. En este sentido se establece entonces que el ahorro de energía contribuye a reducir la generación de contaminantes resultantes del proceso de producción de ésta, así, las externalidades del uso de la energía eléctrica se calculan de manera indirecta, es decir, a partir de las emisiones de contaminantes globales que se emiten en su generación.

Una vez identificadas las externalidades del transporte y los contaminantes no emitidos al reciclar aluminio, González (1996), realiza el cálculo monetario de los ahorros de energía y contención de contaminantes emitidos en su generación. Para ello utilizó el dato de ahorro de energía que previamente calculó en el cuadro 8, suponiendo que los 14,630 kWh que se dejan de consumir por tonelada de aluminio reciclado fueron producidos proporcionalmente de acuerdo a los porcentajes de generación reportados por la SENER y que se pueden observar en el cuadro 4.9.

Cuadro 4.9 Capacidad instalada de energía eléctrica en México

Tipo de planta	Porcentaje de energía eléctrica generado en cada tipo de planta
Termoeléctrica	58%
Hidroeléctrica	29%
Carboeléctrica	7%
Nucleoeléctrica	4%

Fuente: Elaboración propia con datos del autor obtenidos de la capacidad instalada de energía eléctrica del sector paraestatal en 1996, Secretaría de Energía, 1999

Enseguida el autor asigna valores de acuerdo al tipo de tecnología de generación y a la cantidad de emisiones por cada MWh de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, TSP y metano que cada central (termoeléctrica, hidroeléctrica, carboeléctrica y nucleoeeléctrica) emite al medio ambiente, medido a través de sus efectos en la salud de los individuos, el rendimiento de los cultivos, el desgaste de los edificios, entre otros impactos que pueden ser valorados monetariamente obteniendo los siguientes valores unitarios:

Cuadro 4.10 Valores unitarios de los impactos ambientales por tipo de planta eléctrica

Tipo de planta	\$/MWh
Termoeléctrica	6.76
Hidroeléctrica	23.27
Carboeléctrica	84.12
Nucleoeeléctrica	32.57

Fuente: Elaboración propia con datos del autor obtenidos de Brisson y Powell (1995)

Para realizar el cálculo final de las externalidades por el tratamiento y prácticas del aluminio, el autor subraya que de acuerdo a los datos de la asociación de recicladores, en 1996 se comercializaron en el mercado mexicano 324 mil toneladas de éste material, considerando este dato se busca dar un valor monetario a los impactos en el medio ambiente generados por el volumen de aluminio comercializado en ese año.

De acuerdo a los datos expuestos en el cuadro 4.7, al reciclar una tonelada de aluminio se ahorran 14.63 MWh, puesto que en 1996 se reciclaron 324 mil toneladas de este material, el resultado es 4,740,120MWh ahorrados, la cual es una cantidad significativa de energía no producida, lo que se traduce en externalidades no generadas al producir la energía.

Esta cantidad de MWh distribuidos entre los diferentes tipos de plantas con sus porcentajes de generación señalados y habiéndoles asignado un valor económico a las externalidades, los ahorros de energía se distribuyen tal como se muestra en el cuadro 4.11.

Cuadro 4.11 Ahorro de energía por reciclaje de aluminio en 1996

<b>Ahorro de energía: externalidades positivas</b>			
Tipo de planta	Ahorro de MWh	Valor unitario \$/MWh	Total pesos \$
Termoeléctrica	2,833,170	6.76	19,142,411
Hidroeléctrica	1,374,635	23.27	31,984,368
Carboeléctrica	354,087	84.12	29,786,185
Nucleoeléctrica	178,228	32.57	5,805,714
		Total ahorro	<b>86,718,678</b>
<b>Externalidades negativas del transporte</b>			
Toneladas de aluminio en 1996		Valor unitario \$/ton	Total pesos \$
324,000		3.58	<b>1,159,920</b> (Total costos ambientales)

Fuente: Elaboración propia con datos del autor obtenidos de tablas anteriores

El autor concluye destacando la importancia de asignar valores monetarios a los beneficios ambientales por concepto de ahorro de energía eléctrica, pues éstos, rebasan por mucho los costos ambientales por transporte. Es decir, en 1996 el nivel alcanzado en el reciclaje del aluminio pudo permitir un ahorro de energía equivalente a casi 87 millones de pesos, mientras que los costos de las externalidades en el transporte por concepto de contaminación y accidentes, fue de alrededor del millón de pesos.

La valoración económica de las externalidades es importante particularmente porque ofrece indicadores para analizar los efectos que tienen las diversas maneras de producir y consumir energía en el medio ambiente, de tal manera que al traducir los efectos físicos (positivos y negativos) en valores monetarios, permite conocer el costo real de un proyecto.

Azqueta y Delacámara (2008), analizan las actividades y los impactos relacionados con la extracción de petróleo. De acuerdo con los autores, el área deforestada para la prueba sísmica (necesaria para localizar los yacimientos) y la colocación del equipo de perforación, en promedio es de dos hectáreas, conforme a este dato, en el cuadro 4.12 presentan los resultados que arroja su investigación sobre el costo ambiental que representa la deforestación para la explotación del petróleo en yacimientos nuevos.

Cuadro 4.12 Valor económico de la deforestación y componentes principales

Área deforestada (hectáreas), en yacimientos nuevos	Valor de los productos de la madera perdida (115.3 dólares/ha)	Carbono liberado (toneladas/ha)	Valor del carbono liberado (25 dólares/tCO2 equivalente)	Valor de la biodiversidad perdida (7 dólares/ha)	Costo total (en dólares)
2	230.6	400	10,000	14	10,244.6

Fuente: elaboración propia con datos de los autores

Con respecto a la estimación de las externalidades presentadas en el cuadro anterior, concluyen estableciendo que el resultado final es muy sensible al valor del precio de una tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente, mientras que el valor de los productos distintos de la madera no influye demasiado en el costo final de la deforestación. Se establece entonces que el costo del CO<sub>2</sub> es la externalidad más significativa de las actividades petrolíferas analizadas.

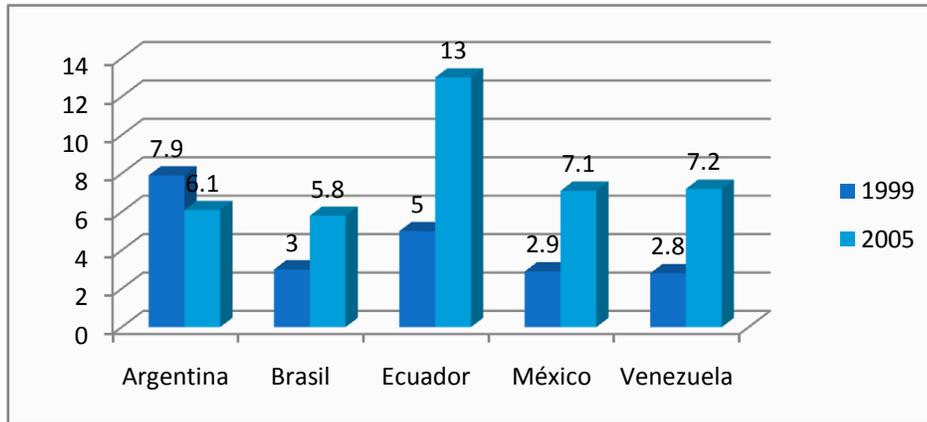
Además del costo de las externalidades relacionadas con el petróleo, se analizarán sus costos de producción con el objeto ampliar el panorama económico en torno al sector de los combustibles fósiles.

Campodónico (2008), adoptando la definición de costos de producción y la metodología de *Energy Information Administration* (EIA) del Departamento de Energía de los Estados Unidos, incluye en los resultados de su investigación los costos de exploración, extracción y producción, a los que le agrega los costos administrativos y la depreciación. Es importante destacar que los costos de producción de cada país varían debido a varios factores. Uno de ellos es el nivel de inversiones realizado, que incide en mayores montos depreciados. También interviene el estado de los campos de los cuales se extrae el crudo. Así, encontramos campos marginales, de crudo pesado o donde existe una situación de agotamiento de las reservas, por lo que se requieren mayores inversiones para su extracción.

Indica que las empresas estatales como PETROBRAS, PEMEX y PDVSA tienen costos de producción muy competitivos e inferiores a los de empresas transnacionales, permitiendo que sus respectivos países cuenten con bajos costos

de producción promedio. Los resultados de su investigación los presenta en el cuadro 4.13.

Cuadro 4.13 Costos de producción del petróleo por país (US\$ por barril)



Fuente: elaboración propia con datos del autor obtenidos de UNCTAD, PETROBRAS, PETROECUADOR, PEMEX, PDVSA

De acuerdo al cuadro 4.13, Argentina es el único país que presenta una tendencia decreciente en el periodo de estudio, que va desde US\$ 7.9 dólares por barril en 1999 y disminuye a US\$ 6.1 por barril en el 2005. El autor indica que la principal causa en la reducción de los costos de producción en Argentina se debe a la devaluación de la moneda en el 2002. El resto de los países objeto de análisis muestran un aumento considerable en el periodo analizado.

Sobre los costos de producción en México, Campodónico (2008) señala que PEMEX se caracteriza por ser una empresa competitiva a nivel mundial, con costos de producción por debajo de la mayoría de las grandes petroleras como Exxon, Eni, Conoco, BP, Shell, Chevron y Petrobras.

Indica que el aumento de los costos de producción reflejados en la gráfica, obedecen al agotamiento de los campos existentes y la falta de campos nuevos para reponer las reservas, no obstante, recientemente el nivel de costos promedio medido en dólares ha disminuido debido a un efecto cambiario derivado de la apreciación del dólar ya que la mayoría de los servicios que se utilizan en estos campos de producción están contratados en pesos, situándose con un promedio menor a 10

dólares por barril en los campos que actualmente están activos, e incluso, en algunos pozos en aguas someras, el costo es inferior a 7 dólares por barril.

Además del proceso de exploración y producción de crudo, éste lleva un proceso de refinación para poder transformarlo en productos de uso común conocidos como petrolíferos, tales como la gasolina, diesel, queroseno, combustóleo y gas L.P., por lo que se revisará literatura de algunos autores que hayan realizado investigaciones en este campo.

Aguado y Galla-More (1961), establecen que de acuerdo a los resultados de su investigación, el costo de inversión fijo para la instalación de una refinería en Centroamérica que produzca 38 mil barriles diarios de gasolina, en sus diferentes tipos, fue de 38,000 millones de dólares aproximadamente, es decir, mil dólares de inversión por barril, y destacan que en el año de 1959 la inversión en las actividades petroleras específicamente en México fue la siguiente:

Cuadro 4.14 Inversión realizada en México en las actividades petroleras

Concepto	Inversión \$ Dólares/barril
Exploración-Producción	1209
Refinería	800
Transporte buque-tanque	52
Otros transportes	300
Distribución y venta	200
Total	2561

Fuente: elaboración propia con datos del autor

Indican que esta inversión incluye todo el capital fijo necesario, es decir, costo del equipo, instalación, aparatos de control, edificios, instalación eléctrica y de vapor, terrenos, honorarios del contratista y construcciones, y destacan específicamente el bajo costo por concepto de refinación, toda vez que se trata de una refinería con capacidad de 35 mil barriles por día y su inversión en dólares por barril se situaba en los \$800 dólares, lo cual representa \$200 dólares menos que el costo estimado para un barril refinado en Centroamérica.

Los autores continúan haciendo referencia a las diferentes capacidades de producción y costos de inversión por barril de las refinerías en algunos países del continente americano, tal como se muestra en el cuadro 4.15.

Cuadro 4.15 Inversión para la instalación de una refinería en Centroamérica

País	Inversión (millones de dólares)	Capacidad de producción (barriles/día)
Guatemala	18	18,000
El Salvador	10	10,000
Nicaragua	8	5,000
Panamá	35	50,000
Chile	34	44,000

Fuente: elaboración propia con datos de los autores.

Destacan que al aumentar la capacidad de una industria los costos de instalación no aumentan linealmente, sino en forma exponencial, con un término de potencia inferior a la unidad.

Una vez expuestos los costos de inversión para la instalación de una refinería y los costos de producción por barril, los autores calculan el costo de producción de los diferentes combustibles que se obtienen en el proceso de la refinación. Estos valores fueron calculados a partir de las proporciones de distintos derivados que se espera obtener al refinar el crudo. Por otro lado, los precios están expresados en dólares y fueron obtenidos de estudios realizados por la CEPAL de acuerdo a las investigaciones sobre la integración económica en Centroamérica, tal como se muestra en el cuadro 4.16.

Cuadro 4.16 Costos de producción por tipo de combustible

Producto	Porcentaje producido en refinería	Precio por barril (dólares)
Gasolina	31.7%	\$4.95
Kerosina	6.9%	\$4.50
Diesel y fuel-oil	56.7%	\$4.20
Lubricantes	2.2%	\$3.97
Asfaltos	2.5%	\$1.90
	100%	

Fuente: elaboración propia con datos de los autores obtenidos de la CEPAL y la oficina de Estadística de Naciones Unidas

Los cálculos anteriores presentan un costo promedio así como una perspectiva histórica de utilidad sobre las inversiones y los costos de producción de la gasolina en México y Centroamérica.

En el mismo orden de ideas, sobre los costos de producción de la gasolina, Fernández (2010), determina que de acuerdo a su investigación realizada sobre este tema, los costos de refinación varían en las diferentes regiones de Estados Unidos de acuerdo con las características de operación que se tenga en cada planta, del tipo de crudo que se refina, la tecnología disponible y los insumos que se manejan. Establece que la estructura porcentual de los precios de la gasolina en Estados Unidos se distribuye de la siguiente manera:

Cuadro 4.17 Distribución porcentual de los precios de la gasolina regular en USA

Concepto	Porcentaje
Impuestos	15%
Distribución y mercadeo	10%
Refinación	9%
Petróleo crudo	66%

Fuente: elaboración propia con datos del autor obtenidos de la Oficina de Información Energética

De acuerdo a las estimaciones del cuadro 4.17, se debe destacar que el menor porcentaje del precio de la gasolina corresponde al proceso de refinación con únicamente 9% del total, además, el porcentaje observado por concepto de impuestos es mucho menor respecto al porcentaje que se paga en México, el cual

rebasa el 50% y obedece al Impuesto Especial Sobre Productos y Servicios, Impuesto al Valor Agregado y al Impuesto Sobre la Renta (SHCP, 2016).

En el mismo sentido, Di Constanzo (2010) ofrece datos más recientes sobre la estructura de los precios en Estados Unidos e indica que de acuerdo con la Agencia de Información de Energía de los Estados Unidos (EIA), hasta noviembre del 2009, del precio final de venta de la gasolina a los consumidores, que fue en promedio de 2.32 dólares por galón, un 59.6% correspondió al costo del petróleo crudo, un 11.3% al costo de refinación, un 11.8% al costo de distribución y comercialización, y un 17.3% correspondió a impuestos.

De esta manera, señala que si se aplicara una estructura porcentual de precios semejante para el caso de México, se tendría un precio final de las gasolinas muy competitivo, por el bajo costo de producción del crudo nacional.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA

En la consecución de metas ambientales, los costos y los beneficios deben ser medidos y expresados en términos comparables. En este sentido, el Análisis Costo-Beneficio (ACB) es un instrumento de medición muy recomendado para evaluar las decisiones ambientales, sobre todo en las políticas públicas, puesto que permite medir en términos equiparables los factores positivos y negativos de un proyecto y su impacto económico y medio ambiental, logrando así tener la información necesaria para el diseño de políticas racionales (Molinos, 2011).

De acuerdo al capítulo 3, en el que se presenta la legislación en materia de energéticos como una obligación para el Estado Mexicano, se encontró que preservar el medio ambiente y los recursos naturales es ahora prioridad y una obligación legal. Sin embargo, para el logro de este objetivo los criterios económicos son muy importantes y no deben dejarse de lado.

La generación de energía eléctrica por fuentes renovables constituye una actividad económica de gran importancia en el país, ya que como se ha establecido en la reforma energética recientemente aprobada en el año 2015, el Estado ha abierto las puertas a la inversión privada en esta materia, por lo cual, los aspectos económicos en los procesos de generación y producción de energéticos son importantes para ambos sectores: el público y el privado.

En este sentido, el ACB es una de las herramientas más utilizadas para evaluar la viabilidad económica de cualquier proyecto. Esta herramienta asegura la racionalidad económica de las inversiones y servicios de operación, ya que detecta si los beneficios del proyecto son mayores que los costos (Molinos, 2011).

#### 5.1. Análisis Costo-Beneficio

La herramienta de ACB es diferente de un análisis puramente financiero. Básicamente, el análisis financiero se basa en una comparación de los ingresos y los

gastos generados durante la vida del proyecto, es decir, lo que se conocen como los impactos internos o privados. La diferencia entre el ingreso total y el costo total en valor presente, es el valor actual neto, es decir, el beneficio del proyecto para quien lo lleva a cabo. Sin embargo, el enfoque de ACB es diferente. No sólo los ingresos privados se comparan con los costos internos, sino también los llamados impactos externos o externalidades derivadas del proyecto deben ser considerados dentro de los costos. De esta manera, el resultado de restar los costos totales al total de los beneficios es el valor actual neto que se expresa en valor presente (Weng y Fujiwara, 2011).

Debido a la naturaleza de los proyectos energéticos, los cuales son el motor de la sociedad actual, el análisis de la viabilidad económica de los procesos de generación de energía eléctrica y de producción de gasolina (para esta investigación en particular), debe ser realizado utilizando la herramienta ACB con el objetivo de que los beneficios y perjuicios ambientales puedan ser estimados en términos monetarios, ya que un análisis financiero se limitaría únicamente a la comparación de los ingresos y de los costos generados durante la vida del proyecto, dejando de lado los costos sociales.

Continuando con el análisis de la herramienta ACB, De Anguita et al. (2011), establece que en un estudio ACB se busca la rentabilidad social del proyecto, ya que en este se incluyen los beneficios y costos sociales incluyendo además de los ingresos y costos privados.

Los autores señalan que las diferencias más significativas entre el análisis financiero y el ACB son: a) referente a los beneficios: mientras que en el análisis financiero sólo tiene en cuenta los ingresos monetarios obtenidos por el agente económico inversor una vez construida la infraestructura, en el ACB se tienen en cuenta todos los beneficios obtenidos por el conjunto de la sociedad, tanto del agente económico inversor como del resto de agentes a los que, de una manera directa o indirecta les afecta el proyecto. Por ejemplo, en un ACB que evalúe la construcción de una autovía que permita reducir el tiempo de viaje y que mejore la fluidez de tráfico de una carretera nacional, se tendrán en cuenta no sólo los beneficios de los usuarios

de dicha autovía sino que deberán ser considerados los beneficios producidos a los usuarios de la carretera nacional debido a la disminución de la congestión en dicha vía.

b) En cuanto a los costos de construcción, mantenimiento y explotación de la infraestructura, en el análisis financiero éstos son valorados en términos de precios de mercado de los factores de producción utilizados en la construcción, mantenimiento o explotación de la infraestructura. Sin embargo, en el ACB los costos deben valorarse en términos de costo de oportunidad, definiéndose éste como el beneficio perdido en el mejor uso posible de los factores de producción empleados en la construcción, mantenimiento y operación del proyecto si dicho proyecto no se realizara. Además en el ACB deben reflejarse las externalidades (tanto positivas como negativas) que puede provocar la construcción del proyecto en el conjunto del sistema económico. En el caso de que las externalidades fueran positivas (por ejemplo, reducción de la contaminación atmosférica o reducción de la congestión en carreteras alternativas), éstas se reflejarían en el lado de los beneficios sociales.

c) Mientras que en el análisis financiero se usa un tipo de interés de mercado que refleja el costo del capital utilizado en el proyecto de inversión, en el ACB se emplea una tasa social de descuento que únicamente refleja el costo de oportunidad de los fondos empleados en el proyecto de inversión. En un ejemplo específico de lo anterior, suponga un cambio a uso forestal no productivo, por lo que el costo de oportunidad se estimaría como el 100% de la producción agrícola actual de estos territorios.

## **5.2. Función del Costo de Producción**

Molinos (2011), señala que el ACB está hecho para comparar la viabilidad económica asociada con la implementación de diferentes propuestas de proyectos. El ACB parte de la premisa de que un proyecto sólo debe ponerse en servicio si todos los beneficios superan los costos agregados. En consecuencia, los beneficios de cada propuesta se comparan con los costos mediante el uso de una metodología

analítica común. El beneficio neto o beneficio total se calcula teniendo en cuenta el beneficio interno y externo, como se muestra en la ecuación (1).

$$CN = \sum B_i - \sum C_i \quad (1)$$

donde:

CN= Costo Neto

$B_i$ = Valor de los beneficios de  $i$

$C_i$ = Valor de los costos de  $i$

Para un proyecto dado, si el resultado del cálculo es  $CN > 0$ , entonces el proyecto es económicamente viable, mientras que si el resultado del cálculo es  $CN < 0$ , entonces el proyecto no es viable en términos económicos (Chen y Wang, 2009). Esta relación se pueden utilizar para clasificar las políticas y proyectos que compiten por los recursos escasos, y así elegir aquel que tenga la mayor relación beneficio costo (De Anguita et al., 2011).

### 5.3. Función de viabilidad económica y ambiental

De lo anterior se desprende una ecuación más detallada, en la que se pueden discernir factores ambientales y financieros, como se muestra en la ecuación (2), la cual nos permite evaluar la viabilidad económica y ambiental de los proyectos desde el punto de vista del Análisis Costo Beneficio (Molinos, 2011).

$$FC = \sum_{j=1}^J Ep_j + \sum_{z=1}^Z I_z - \sum_{b=1}^B En_b - \sum_{n=i}^N C_i \quad (2)$$

Dónde:

FC= Flujo de caja

$E_{pj}$ = Valor de las externalidades positivas de $j$	}	Términos ambientales
$E_{nb}$ = Valor de las externalidades negativas de $b$		
$I_z$ = Valor de los ingresos de $z$ por venta de la energía	}	Términos financieros
$C_i$ = Valor de los costos de generación $i$		

Molinos (2011), determina que en el caso de los proyectos de inversión cuyo período de vida sea mayor a un año, el costo y el beneficio del proyecto o instalación debe ajustarse acorde ello. Si el impacto del proyecto se extiende a lo largo de varios períodos, se debe tener en cuenta el tiempo de vida útil del mismo y la ganancia neta debe ser descontada en términos del "valor presente". Por lo tanto, la tasa de descuento es la tasa de interés utilizada en la ciencia económica para encontrar el valor presente de los costos y beneficios futuros. Por medio de una tasa de descuento elegida adecuadamente, el inversionista identifica las cantidades en efectivo recibidas en diferentes puntos de tiempo. El valor presente neto (*VPN*) de una inversión se calcula en función de la *GN* y la tasa de descuento, como se muestra en la ecuación (3):

$$VPN = \sum_{t=0}^T \frac{GN}{(1+r)^t} \quad (3)$$

donde:

*VPN* es el valor presente neto; *GN* es la ganancia neta en el momento  $t$ ;  $r$  es la tasa de descuento y,  $t$  es el horizonte temporal del proyecto.

Los resultados del *VPN* determinarán la viabilidad proyecto. Además de la *GN* en el caso de los proyectos anuales, un *VPN* positivo significa que la inversión será rentable y el proyecto puede ser aceptado. Por el contrario, si el *VPN* es menor que cero, significa que la inversión va a perder dinero, por lo tanto, la regla de decisión es seleccionar otra opción, una alternativa que maximice el *VPN* (Molinos, 2011). Sin embargo no se debe perder de vista que el presente trabajo trata sobre una

investigación de corte transversal, por lo que no se tiene una tasa de descuento a través de un número de años  $n$ , por lo tanto, la ecuación de VPN no se puede aplicar.

### **Etapas del Análisis Costo-Beneficio**

De acuerdo con Molinos (2011), todo proyecto de inversión o evaluación de una determinada política que sea analizada a través de la metodología ACB debe seguir una serie de etapas:

a) Especificar el conjunto de alternativas a la realización del proyecto. El ACB compara los beneficios sociales netos de invertir recursos en un proyecto determinado con los beneficios sociales netos de un proyecto hipotético que sería desechado si el proyecto en evaluación se llevara a cabo. En la mayoría de las situaciones, la alternativa a la construcción del proyecto es la situación de status quo, es decir la situación en la que no se construye el proyecto.

b) Establecer los beneficios y costos del proyecto. Una vez especificadas las alternativas al proyecto, deben identificarse los beneficios y costos que genera el proyecto para la sociedad. Un aspecto especialmente relevante a la hora de realizar un ACB es decidir cuál es el alcance éste, es decir, si el análisis deberá tener un alcance global, nacional, regional, o local.

c) Cuantificar los beneficios y costos. Probablemente esta es la fase más complicada de un ACB. Por un lado, los impactos internos son los que tienen un precio determinado por el mercado y por lo tanto, se puede medir directamente. Por otro lado, en proyectos con factores ambientales externos, tales como los de generación y producción de energéticos, la cuantificación en términos monetarios de estos impactos es mucho más compleja. A diferencia de impactos internos, los externos en ocasiones no tienen un precio determinado por el mercado. Sin embargo, esto no significa que no tienen valor, ya que contribuyen (cuando son impactos positivos) para mejorar el bienestar de las personas. Para cuantificar el valor de los factores externos, se necesitan métodos de valoración específicos. Por lo tanto, es posible estandarizar todas las unidades ya que los costos son generalmente expresados en

unidades monetarias mientras que los beneficios medioambientales están en términos de parámetros físicos

d) Cálculo del valor presente neto o beneficio total. Como se ha mostrado en la ecuación (2), el VPN se define como la diferencia entre los beneficios y costos, ambos expresados en valor presente. Un proyecto es económicamente viable si el VPN es positivo. Cuando se evalúan diferentes alternativas, la mejor opción la ofrece aquella que tenga el mayor VPN.

e) Desarrollo de un análisis de sensibilidad. Hasta ahora en ninguna de las etapas descritas para realizar un ACB se ha tomado en cuenta la existencia de incertidumbre sobre los beneficios y costos futuros del proyecto así como para los valores monetarios asociados a cada unidad de entrada o salida. Existen técnicas estadísticas que permiten introducir incertidumbre en las variables que forman parte del análisis, como por ejemplo, las simulaciones de Monte Carlo que permiten obtener distribuciones de probabilidad del VPN aumentando el rendimiento de la información disponible, lo cual no significa que se elimine el riesgo del proyecto.

f) Hacer una recomendación basada en el VPN y en el análisis de sensibilidad. Tal y como se señaló en el inciso d), en el ACB se elegirá aquella alternativa que genere un VPN más alto, suponiendo que las demás alternativas tenga un VPN positivo. Sin embargo, dado que los valores presentes netos son valores esperados, el análisis de sensibilidad podría mostrar que el proyecto con un VPN más alto no fuera la mejor opción al considerar incertidumbre en alguna de las variables de estudio.

Finalmente es importante tener en cuenta que el ACB es una herramienta que muestra cómo los recursos económicos deberían ser asignados para lograr la maximización de la eficiencia económica, es decir, es una técnica de regulación o normativa. Sin embargo, en este caso particular sobre la investigación que se realiza, la decisión final acerca de la aplicación o no de los proyectos energéticos corresponde a los tomadores de decisiones del Estado. A pesar del interés de las generaciones futuras para preservar el medio ambiente, para el Estado puede haber

otros criterios diferentes a uno estrictamente económico para justificar proyectos con valores negativos de ganancias netas.

Núñez-Sánchez (2005), señala que la evaluación económica de proyectos y políticas públicas a través del ACB está fundamentada en la teoría microeconómica del bienestar donde el conjunto de individuos tratan de maximizar su utilidad dadas sus preferencias, sujetos a dos restricciones: los recursos productivos disponibles y la tecnología, y dado que el objetivo es aumentar la utilidad de los individuos, se deberán producir aquellos bienes que los individuos valoran. Indica que el objetivo de llegar a una situación de eficiencia en la asignación es la base conceptual del ACB. En análisis en los que dicha eficiencia es el único criterio de decisión para realizar un proyecto o evaluar una determinada política, el ACB proporciona un método para hacer comparaciones directas entre diferentes alternativas.

Para el autor el concepto de eficiencia económica está estrechamente ligado con el concepto de eficiencia de Pareto, produciéndose una asignación eficiente en el sentido de mejorar al menos a una persona sin empeorar a otra. La conexión entre el valor presente neto (VPN) positivo y la eficiencia de Pareto es la siguiente: si el resultado de la evaluación de un proyecto o de una determinada política a través del ACB ofrece un valor actual neto positivo, entonces, es posible encontrar formas de transferencias o compensaciones entre agentes, de manera que esté mejor al menos una persona sin perjudicar a ninguna otra.

Sin embargo, esta regla es bastante restrictiva a la hora de evaluar proyectos y políticas en la vida real. La gran mayoría de proyectos y políticas tienen beneficiarios pero también perjudicados, los cuales, según lo descrito anteriormente, deberían recibir compensaciones de los agentes beneficiados de manera que en la situación final no hubiese ningún perjudicado. Como se puede intuir, esta serie de transferencias o compensaciones serían muy difíciles de implementar en la práctica por numerosas razones.

Se necesitaría información perfecta tanto de los beneficios y costos agregados como de los costos y beneficios individuales de cada uno de los agentes económicos

afectados por el proyecto o la política objeto de evaluación. Sería extremadamente costoso establecer un sistema de compensaciones que no distorsionara las decisiones de inversión. El hecho de compensar a los agentes perjudicados por el proyecto o la política evaluada crearía un incentivo a todos los agentes económicos afectados a sobreestimar los costos y subestimar los beneficios esperados, complicando aún más la tarea de inferir cuánto está dispuesto a pagar cada agente por los outputs obtenidos por el proyecto (Boardman et al., 2001).

Dada la dificultad de fundamentar el ACB a partir del criterio de eficiencia de Pareto, se utiliza una regla de decisión alternativa con menos rigurosidad teórica pero que ofrece una mayor operatividad. Dicha regla está basada en el criterio de Kaldor-Hicks, el cual afirma que una política o un proyecto debería llevarse a cabo si y solo si aquellos agentes económicos beneficiados pudieran compensar a aquellos agentes perjudicados (Boardman et al., 2001).

### **Función de bienestar social y función de utilidad**

La implementación de un proyecto o de una determinada política lleva consigo una serie de reacciones y cambios en el comportamiento de los individuos que integran una sociedad, pues son ellos en quienes finalmente recaen las consecuencias (buenas o malas) de las políticas públicas. A pesar de que el enfoque del presente trabajo es sobre la visión de Estado en cuanto a la generación y producción de energía, es importante analizar las funciones que determinan el bienestar social y la utilidad de los ciudadanos ante determinadas decisiones de gobierno.

Aunque existen diferentes métodos para estimar el cambio en el beneficio social derivado de la implementación de un proyecto o de una determinada política, la desarrollada por De Rus (2004) y Pearce-Nash (1981) es considerada como la más destacada por lo robusto de su modelo. Los autores indican que partiendo de una situación de bienestar social ( $W$ ) y suponiendo funciones de utilidad ( $U_i$ ) independientes, los cambios en el bienestar social ( $W$ ) se producen, de acuerdo con la ecuación (5), por cambios en la utilidad individual de los  $m$  individuos ponderados por el peso que la sociedad establece.

$$W = W(U_1, \dots, U_m) \quad (4)$$

$$dW = \sum_{i=1}^m \left( \frac{dW}{dU_i} dU_i \right) \quad (5)$$

La función de utilidad del individuo  $i$  depende del consumo de los  $n$  bienes y servicios existentes en el modelo, representados por  $X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}$ .

$$U_i = U_i(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}) \quad (6)$$

El problema de optimización de cada consumidor es maximizar su función de utilidad sujeto a su restricción presupuestaria, de manera que el gasto en bienes consumidos no supere la renta disponible del individuo, la cual suponemos exógena en el modelo:

$$\text{Máx. } U_i(X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{in}) - \lambda_i (\sum_{j=1}^n P_j X_{ij} - M_i) \quad (7)$$

donde:

$X_{ij}$  : cantidad del bien  $j$  consumida por el individuo  $i$ .

$M_i$  : renta del individuo  $i$

$P_j$  : precio del bien  $j$

$\lambda_i$  : utilidad marginal de la renta del consumidor  $i$

Las condiciones de primer orden del problema de maximización son las siguientes:

$$\frac{dU_i}{dX_{ij}} - \lambda_i P_j = 0 \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n P_j X_{ij} - P_i = 0 \quad (9)$$

En el equilibrio para el consumidor  $i$ , la utilidad marginal de consumir la última unidad del bien  $j$  debe ser igual a la desutilidad de pagar el precio de dicho bien.

$$P_j = \frac{\frac{dU_i}{dX_{ij}}}{\lambda_i} \quad (10)$$

Por otra parte la variación de la función de utilidad del consumidor  $i$  es igual a la suma de las utilidades marginales de cada bien consumido multiplicado por la variación en la cantidad consumida de dichos bienes:

$$dU_i = \sum_{i=1}^m \frac{dU_i}{dX_{ij}} dX_{ij} \quad (11)$$

Sustituyendo la condición de primer orden (8) en (11) se obtiene la variación en la utilidad individual del consumidor  $i$ :

$$dU_i = \sum_{i=1}^m \lambda_i P_j dx_{ij} \quad (12)$$

Dicha variación dependerá de la variación en la cantidad consumida de bienes, multiplicado por sus respectivos precios, y por la utilidad marginal del presupuesto del consumidor.

A través de la función de utilidad indirecta es posible obtener mediciones monetarias de las variaciones en la utilidad individual. La función indirecta de utilidad del consumidor  $i$  se obtiene sustituyendo las  $n$  funciones de demanda individuales de cada bien en la función de utilidad del consumidor  $i$ . Dicha función de utilidad indirecta depende, por tanto, de los precios de los diferentes bienes así como del nivel de renta del consumidor  $i$ :

$$V_i(p_1, p_2, \dots, p_n, M_i) = U_i \quad (13)$$

Si se añade a la función indirecta de utilidad la restricción presupuestaria se obtiene la siguiente expresión, que depende de los precios y del nivel de renta:

$$V_i(p_1, p_2, \dots, p_n, M_i) - \lambda_i \left( \sum_{j=1}^m p_j x_{ij} - (p_i, \dots, M_i) - M_i \right) \quad (14)$$

En el punto óptimo, diferenciando con respecto a  $p_j$  se puede calcular la variación en la utilidad cuando varía el precio del bien  $j$ :

$$\frac{dV_i}{dp_j} = \sum_{h=1}^n \frac{dU_i}{dx_{ih}} \frac{dx_{ih}}{dp_j} - \lambda_i (X_{ij} + \sum_{h=1}^n \frac{dx_{ih}}{dp_j} p_h) \quad (15)$$

$$\frac{dV_i}{dp_j} = \sum_{h=1}^n \left( \frac{dU_i}{dx_{ih}} - \lambda_i p_h \right) \frac{dx_{ih}}{dp_j} - \lambda_i x_{ij} = -\lambda_i x_{ij} \quad (16)$$

Dado que en el óptimo la utilidad marginal obtenida por la última unidad consumida del bien  $h$  es igual a la desutilidad que produce pagar el precio de dicho bien, entonces:

$$\left(\frac{dU_i}{dx_{ih}} - \lambda_i p_h\right) \frac{dx_{ih}}{dp_j} = 0; \quad h = 1, 2, \dots, n$$

(17)

Diferenciando la función de utilidad indirecta, se obtiene la siguiente expresión donde se muestra que la variación de la utilidad de un individuo depende de la utilidad marginal con respecto al precio multiplicado por la variación de cada precio más la utilidad marginal de la renta multiplicada por la variación en la renta.

$$dV_i \sum_{j=1}^n \frac{dV_i}{dp_j} dp_j + \frac{dV_i}{dM_i} dM_i$$

(18)

Suponiendo que el nivel de renta permanece constante y usando la expresión (16):

$$dV_i = - \sum_{j=1}^n \lambda_i X_{ij} dp_j$$

(19)

Esta expresión es equivalente a la obtenida en la número (12), mientras que en la expresión (19), se mide la variación de la utilidad suponiendo que varían los precios y permanece constante la cantidad consumida de los diferentes bienes; en la expresión (12) se mide la variación de la utilidad suponiendo que varían las cantidades consumidas de los bienes permaneciendo constante el nivel de precios.

Dada la dificultad de obtener la utilidad marginal de la renta para consumidores con diferentes niveles de renta ( $\lambda_i$ ), en la metodología ACB se recurre a una serie de medidas monetarias que expresan cambios en la utilidad.

Si se sustituyen las expresiones (12) y (19) que expresan variaciones en el nivel de utilidad individual de los consumidores, dentro de la función de bienestar social:

$$dW = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{dW}{dU_i} \frac{dU_i}{dM_i} p_j dx_{ij} \quad (20)$$

$$dW = - \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \frac{dW}{dU_i} \frac{dU_i}{dM_i} x_{ij} dp_j \quad (21)$$

Como se observa en las expresiones (20) y (21), la implementación de un proyecto o de una determinada política podrá suponer cambios en el precio o cambios en la cantidad consumida de los bienes. Por otra parte, la variación en el bienestar social dependerá de la variación en el gasto de los bienes consumidos multiplicado por la utilidad marginal social de la renta, que se define como el producto de la utilidad marginal de la renta individual  $\frac{dU_i}{dM_i}$ , y el factor de ponderación que transforma la utilidad individual en bienestar social  $\frac{dW}{dU_i}$ , que deberá ser siempre positivo. A través de dichas expresiones se agregan los efectos individuales de los consumidores que se producen por la implementación del proyecto o de la política objeto de estudio. Así, las disminuciones en el nivel de utilidad de los consumidores perjudicados por el proyecto o política se verán compensadas por el aumento en el nivel de utilidad de los consumidores beneficiados.

Como se puede intuir, la función de bienestar social podría ser modificada introduciendo argumentos de carácter redistributivo, político, etc. modificando el factor de ponderación que multiplica a la variación de gastos en los diferentes bienes consumidos. A pesar de ello, en la mayoría de las aplicaciones empíricas basadas en el ACB se suele dar el mismo peso a los agentes económicos afectados por el proyecto, independientemente de su naturaleza. El objetivo final del ACB por tanto es aumentar la eficiencia en la asignación de recursos productivos.

Finalmente, es importante señalar que el ACB es una herramienta que muestra cómo los recursos económicos deben ser asignados para lograr la maximización de la eficiencia económica, es decir, es una técnica de regulación. Sin embargo, la maximización no siempre se logra, pues las políticas públicas en temas de energía deben ser diseñadas e implementadas por los gobiernos, y en este sentido, no se debe descartar que puede haber otros criterios distintos a los de racionalidad para justificar proyectos con valores negativos (Molinos, 2011).

## CAPÍTULO 6

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación, mediante un ACB, arrojará datos sobre la producción de energía eléctrica por medio de fuentes renovables, específicamente de la energía eólica, solar, hidroeléctrica y geotérmica, así como sobre la producción de gasolina en México, lo cual permitirá cuantificar el costo económico y ambiental así como evaluar la viabilidad de cada tecnología respectivamente.

De tal manera que de resultar más viable la generación de energía eléctrica con fuentes limpias, ésta pueda ser la alternativa energética para disminuir la producción y el consumo de las gasolinas utilizadas en los automóviles que, como ya se ha mencionado en el capítulo 1, son la principal fuente de emisión de GEI. Es importante mencionar que ya existe una oferta considerable de automóviles eléctricos en el mercado nacional con la tecnología adecuada para un funcionamiento eficiente, por lo que es muy probable su progresivo posicionamiento en los consumidores, a medida que sus precios sean más competitivos en el mercado automotriz.

#### 6.1. Costo de producción de la energía eléctrica

Dado que la calidad del medio ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales han sido reconocidos como una verdadera necesidad social, las autoridades en México y el mundo han tratado de encontrar las herramientas más adecuadas para la protección de éstos. Sin embargo, los esfuerzos realizados por algunos gobiernos no ha conseguido alcanzar un alto nivel de protección del medio ambiente y ha habido un alto costo para toda la sociedad (Zhang y Wen, 2008).

En el ámbito de la generación de electricidad con fuentes renovables el PND contempla un nuevo enfoque para el incremento de la energía generada con éstas fuentes y así lograr conseguir los objetivos ambientales de la Ley de Cambio Climático que busca, entre otros, la obtención de un buen estado ecológico en México mediante la reducción de emisiones y el aumento de la participación de las

energías limpias mediante el desarrollo de nuevas tecnologías. Para hacer frente al nuevo marco regulatorio que está diseñado para que las energías limpias sean más competitivas y así cumplir los requisitos exigidos por la Ley de Transición Energética, es necesario reconocer el ACB como una herramienta útil para la implementación de políticas y estrategias eficientes que coadyuven a lograr los objetivos gubernamentales y las demandas sociales. Además cabe señalar que uno más de los objetivos de la Ley de Transición Energética es *incorporar las externalidades en la evaluación de los costos asociados a la operación y expansión de la industria eléctrica*, por lo que el ACB realizado en el presente trabajo de investigación, sobre las energías renovables y las gasolinas fósiles en México, será un aporte importante para la consecución de dicho objetivo.

Cabe destacar, que la energía renovable ha sustituido gradualmente a los combustibles convencionales en cinco mercados distintos: la generación de electricidad, calentamiento de agua, calefacción, combustibles para transporte y la provisión de energía en centros rurales alejados de la red energética. La participación de las energías renovables en el mercado depende de varios factores, entre ellos: los tamaños de las economías, el grado de avance de las tecnologías y el estado de sus políticas energéticas. En este sentido la política en México tiene metas crecientes de energías limpias y de diversificación de fuentes primarias de energía las cuales pretenden incrementar el porcentaje de energías limpias en la matriz energética a 25% en 2018, 35% en 2024, 40% en 2035 y 50% en 2050 (Comisión Reguladora de Energía 2015).

Como se ha informado en el Capítulo 5, una de las mejores herramientas para evaluar la viabilidad económica de cualquier proyecto es el ACB. Esta herramienta garantiza la racionalidad económica de las acciones, ya que garantiza que los beneficios sean mayores que los costos. El ACB es una herramienta de apoyo racional y sistemático en el proceso de toma de decisiones.

Históricamente, la aplicación del ACB en la evaluación de los proyectos se ha modificado en función de los objetivos y las políticas de desarrollo (Molinos, 2011), las cuales se identifican en tres etapas:

- 1) Enfoque tradicional: un enfoque económico claro que tiene como objetivo aumentar el nivel de bienestar en términos monetarios. Este enfoque se aplicó hasta finales de 1960.
- 2) El enfoque socio-económico: surge cuando se incorpora el concepto de equidad social. El objetivo es lograr una distribución equitativa de los ingresos.
- 3) ACB con factores ambientales externos de valoración es el tercer enfoque y los resultados de la incorporación de criterios ambientales están incluidos en el proceso de toma de decisiones. Este tipo de Análisis se originó en la década de 1980 y se hizo más generalizado en la década de 1990 (Pearce y Nash, 1981).

En el contexto de la energía eléctrica, se sabe que aquella que se genera con fuentes limpias tiene importantes beneficios ambientales asociados, específicamente la no emisión de gases de efecto invernadero para generarla. En términos económicos, mediante los Certificados de Energías Limpias (CEL), los cuales tienen un valor de mercado, se puede calcular estos efectos externos positivos. En México este mecanismo de mercado está contemplado como un incentivo para el cambio paulatino de modelo energético. Sin embargo, en algunos casos, estos beneficios ambientales no están cuantificados, por ello, la valoración monetaria de estos factores externos es necesaria para justificar la viabilidad económica de los proyectos de generación de energía.

De acuerdo con la metodología descrita en el capítulo 5, la viabilidad económica de la generación de energía eléctrica evaluada a través de la herramienta de ACB, será la diferencia entre los beneficios y los costos que se muestran en la siguiente ecuación descrita en el capítulo anterior.

$$FC = \sum_{j=1}^J Ep_j + \sum_{z=1}^Z I_z - \sum_{b=1}^B En_b - \sum_{n=1}^N C_n$$

En teoría, la cuantificación de los costos asociados a la generación de energía en las centrales eléctricas con fuentes renovables es sencilla, puesto que los criterios de estos costos son claros y estrictamente controlados por las empresas operadoras,

privadas o públicas. Sin embargo, la gran variedad de esquemas de organización y de gestión pública a nivel de los gobiernos locales y regionales disponibles, así como de empresas privadas quienes desarrollan de forma continua avances tecnológicos en el diseño y operación de instalaciones de generación, hacen que el análisis económico sea una tarea muy compleja por la restricción, escasez o en algunos casos la inexistencia de los datos de costos.

Como ya se ha mencionado en el capítulo 3, el Costo Nivelado de Energía (LCOE) es la metodología más aceptada y utilizada por los principales organismos de medición de costos a nivel nacional como la Secretaría de Energía (SENER) y el Centro Nacional de Control de Energía (CENACE) para calcular los costos que componen la generación de energía eléctrica. De acuerdo al Laboratorio Nacional de Energía Renovable (2014), los indicadores mostrados en la tabla 6.1 se deben utilizar para determinar los costos, y la ecuación LCOE aplicada en ellos es una metodología estándar aplicada a nivel mundial (Instituto de Investigación de Energía Eléctrica, 2007). Esta incluye cuatro entradas básicas: 1) costos de capital; 2) costos operativos o de funcionamiento anuales; 3) producción de energía anual; y 4) el índice o factor de planta (coeficiente que capta todos los recargos anuales promedio incluyendo el rendimiento del capital instalado, depreciación y los impuestos).

Tabla 6.1 Categorías de costos para la generación de energía eléctrica

1) Costos de capital
2) Costos operativos anuales
3) Producción de energía anual
4) Factor de planta

Fuente: Elaboración propia con datos de Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, 2014)

### La energía eólica

En 2015, la energía eólica fue la principal fuente de nueva capacidad generadora de electricidad en Europa y Estados Unidos, y la segunda más importante en China. Diversas compañías y otras entidades privadas en el mundo continuaron inclinándose hacia la energía eólica como una fuente de energía confiable y de bajo

costo, mientras que varios grandes inversionistas se sintieron atraídos por la estabilidad de sus rendimientos. La energía eólica está desempeñando un papel importante al satisfacer la demanda de electricidad en un creciente número de países, incluyendo México (REN 21, 2016). El mercado nacional de energía eólica está empezando a despertar. Durante 2012 México instaló 0.21 GW, con lo cual alcanzaron al final de ese año 0.67 GW de capacidad instalada. Sin embargo, esta cantidad todavía representa una proporción muy pequeña de la generación eléctrica nacional (SENER, 2012).

En México, el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) lleva a cabo estudios para estimar el potencial eólico nacional. Estos estudios se basan en el supuesto de que sólo el 10% del área total con potencial es aprovechable para la instalación de parques eólicos. Esto debido a factores orográficos, ambientales, sociales y de factibilidad técnica y económica. Como resultado, el potencial energético del recurso eólico estimado en el país es del orden de 71 mil MW, considerando factores de planta superiores a 20%. Los desafíos actuales para este tipo de energía limpia incluyen la falta de infraestructura de transmisión y la restricción de suministro en la generación de energía eólica (SENER, 2012).

## 6.2. Costo de producción de la energía eólica

A medida que los mercados eólicos globales maduran, la información sobre los costos a nivel de componentes tiene cada vez mayor disponibilidad. Para administrar y organizar esta información de costos, *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) ha desarrollado una estructura de desglose de los costos del sistema para separar un proyecto eólico entero en sus componentes más pequeños y específicos. Proporciona un enfoque estandarizado para la caracterización de los gastos totales de por vida para proyectos de energía eólica a nivel de componentes, incluyendo costos tanto físicos (materiales, mano de obra y equipo) y financieros (seguros, financiamiento de la construcción) (Molinos, 2011).

Dentro de los costos de capital se encuentran incluidos los costos de los equipos que deben ser instalados, que para el caso específico de la energía eólica son las

turbinas que se componen de rotor, góndola y torre, y que representan la mayor parte del costo del proyecto con base en tierra (71%). También incluye los costos de balancear el sistema eléctrico y los costos financieros. Dentro de los costos operativos anuales se contemplan aquellos necesarios para asegurar el correcto funcionamiento de la central, tales como materiales, revisiones y reparaciones (\$/KW/año). La producción de energía anual está dada en las siguientes unidades: MWh/MW/año y el factor de carga está calculado de acuerdo al promedio de eficiencia reportado por los equipos eólicos a nivel mundial (NREL, 2015).

Las estimaciones de costos de proyectos eólicos terrestres se derivan principalmente de los datos del proyecto instalado por Wiser y Bolinger (2015) y la base de datos de la Asociación Americana de Energía Eólica. Estos datos se cotejaron encontrando grandes coincidencias con los datos de salida de NREL sobre los costos de producción de electricidad con turbinas de viento en modelo de escala de gran robustez y aceptación en USA (Fingersh et al., 2014). El proyecto de referencia con base en tierra supone recursos de viento moderado, típico de la región interior de los países de América del Norte (incluido México), cuyos resultados se muestran en la tabla 6.2.

Tabla 6.2 Costo promedio de producción de la energía eólica en los países de América del Norte

Conceptos	1.94 MW-Turbinas Terrestres (USD\$ / MWh)
Costo de capital de las turbinas	35
Balance del sistema	10
Costos financieros	3
<b>Total Costos de capital</b>	<b>48</b>
Costos operativos (USD \$ / kWh / año)	15
Tasa de descuento 10.3%	1
Producción de energía anual 3,466 (MWh/MW/año)	.5
Factor de planta 39.6%	.5
<b>TOTAL LCOE (USD\$/MWh)</b>	<b>65</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de *National Renewable Energy Laboratory* (NREL, 2014)

En los resultados de la tabla 6.2 se puede observar que el costo total de generación de energía eólica es de 65 USD\$/MWh, cifra que no está tan alejada del dato reportado en el documento *Prospectivas de energía renovable 2012-2016* emitido por la SENER, en el cual, toma como costos de referencia para México los emitidos por *Renewables Global Status Report*, REN21, 2012, en los cuales se reporta un costo mínimo de 52 USD\$/MWh, pasando por un intervalo con un precio máximo de 165 USD\$/MWh, el cual parece excesivo y obedece al factor de planta. Por lo cual se tomará el costo reportado por NREL como promedio ponderado, ya que son cálculos amplios y robustos, producto de la descomposición detallada de los factores que inciden en el costo de generación de la energía eólica. Cabe destacar que el costo de generación calculado no incluye los costos externos, únicamente incluye los indicadores financieros para calcular el LCOE.

### **Externalidades del proceso de generación de energía**

Tradicionalmente las decisiones de planeación energética en México se han tomado basándose en el concepto de *mínimo costo*, sin embargo debido a que existen impactos derivados de esta actividad sobre la sociedad y el ambiente, es necesario modificar ese enfoque de evaluación para tomar en cuenta esos efectos que son identificados como externalidades. Como ya se ha descrito en el capítulo 3, desde los años 90's la UE ha desarrollado la metodología ExterE (vías de impacto) para la valoración de las externalidades más relevantes de la generación de energía, misma que se ha consolidado como una referencia internacional, la cual se aplicó en México en estudios realizados por SENER, CEPAL y CFE desde el año 2004 con el objetivo de incluir los costos y beneficios de las externalidades, es decir, asignar un valor económico a las externalidades negativas y positivas y evaluarlas dentro de las políticas energéticas y en los sistemas futuros de energía (CRE, 2010).

### **6.3. Externalidades de las fuentes renovables por tecnología de generación**

Las evaluaciones de ExterneE (vías de impacto) analizan el ciclo completo de generación de energía: explotación del combustible, transporte de combustible,

equipos y desperdicios, construcción y operación de la planta, transmisión y distribución de la electricidad, desmantelamiento de la planta y disposición final, de esta manera la valoración económica de las externalidades es más robusta. En el caso específico de las energías renovables no todos son beneficios en el sentido de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes no emitidas a la atmósfera, también tienen algunos impactos externos negativos, aunque proporcionalmente menores a los provocados por combustibles fósiles. En este sentido los impactos principales de las energías renovables analizadas son:

- Energía hidroeléctrica: ecosistemas, paisaje, CH<sub>4</sub>, uso de suelo, turismo.
- Energía eólica: paisaje, ruido, daño a aves, interferencia de comunicación, emisiones por construcción de componentes.
- Solar fotovoltaica: ecosistemas, paisaje, metales pesados de los componentes.
- Geotérmica: paisaje, contaminación agua (evitable).

### **Valor de las externalidades de las energías renovables**

En México a estas externalidades negativas se les ha asignado un valor económico el cual se muestra en la tabla 6.3. En la valoración se toma en cuenta el cambio de uso del suelo para la estimación de las emisiones de esta categoría, se estandarizó la clasificación de vegetación y uso del suelo a nivel histórico en México y se adaptó a las metodologías del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (DOF, 2012).

Se debe señalar que los impactos negativos mencionados generalmente se dan en la etapa inicial de los proyectos y en la construcción de infraestructura de las centrales eléctricas, ya que una vez puestas en marcha, la electricidad se genera de manera limpia y las externalidades son positivas, pues utilizan fuentes limpias produciendo electricidad sin emitir GEI a la atmósfera debido a que no se requiere de combustibles fósiles para el funcionamiento las centrales eólicas.

De la evaluación de SENER, CEPAL y CFE se obtienen los resultados de la tabla 6.3.

Tabla 6.3 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables

País	Hidroeléctrica (USD\$/MWh)	Eólica (USD\$/MWh)	Geotérmica (USD\$/MWh)	Solar (USD\$/MWh)
<b>México</b>	2.9	1.2	11.8	5.0

Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2010)

Para el cálculo de los valores reportados en la tabla 6.3, la CRE utilizó como referencia los costos de externalidades de 15 países de la UE (UE15) para diferentes ciclos de combustible y fueron adaptados a México utilizando la relación del PIB de México con el PIB de los UE15, además del valor medio de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (CRE, 2010).

Como se puede observar en la tabla 6.3, internalizar los costos de las externalidades en el precio de la electricidad significa un incremento de entre 1.2 (eólica) y 11.8 (geotérmica) USD\$/MWh, lo cual no resulta significativo si se toma en cuenta que para el caso de la energía eólica sólo representa un incremento menor al 2% del total. Sin embargo, por muy pequeños que sean los costos externos se deben cuantificar en un ACB para obtener un indicador de costo de producción y de viabilidad económica por cada tecnología, ya que si las externalidades no se internalizan o no se consideran, los costos en salud y medio ambiente tendrán que ser absorbidos por la sociedad y el que el país general.

#### **6.4. Cálculo de los beneficios ambientales de la producción de energía eléctrica con fuentes renovables**

##### **Energía eólica**

La cuantificación en términos monetarios de los beneficios ambientales derivados de la generación de energía eléctrica con fuentes eólicas está asociada, a nivel internacional, con los Certificados de Reducción de Emisiones (CER). En México también existe este mecanismo de incentivos para la generación de energía eléctrica con fuentes renovables. Algo importante en este sentido, es que el sector gubernamental en México mediante su Reforma Energética 2015, contempla la

emisión de Certificados de Energías Limpias (CEL) para la empresa privada y pública, los cuales tienen un valor de mercado y esto resulta económicamente atractivo y deseable para las empresas dedicadas al sector energético ya que la compra-venta de CEL representa un ingreso adicional para los productores de energías limpias.

### **Certificados de Energías Limpias**

Teniendo en cuenta que la generación de energías limpias es ahora una obligación legal en México (de acuerdo a la Ley de Transición Energética y a la Ley de Cambio Climático expuestas en el capítulo 3), es evidente que se busca la disminución en las emisiones de gases para que la sociedad y el ambiente no sufran impactos externos asociados a la generación de energía. En el nuevo marco regulatorio, cada MWh generado con energía limpia recibe un CEL sin importar la tecnología con la que fue producido. Hay que tomar en cuenta que sólo se otorgará CEL por el porcentaje de energía generada libre de combustible y éste porcentaje será determinado por la Comisión Reguladora de Energía para cada tipo de tecnología (CRE, 2016).

Un CEL es un título que acredita la producción de energía eléctrica limpia y los generadores recibirán un CEL por cada MWh de energía limpia generada para vender en el mercado. De la misma forma, los grandes consumidores de electricidad por Ley requieren que un porcentaje de la energía eléctrica que consumen provenga de fuentes limpias y para comprobar que están consumiendo este porcentaje, tienen que comprar CEL por montos estipulados por la Secretaría de Energía. De esta forma se crea una oferta y demanda de CEL, los cuales se pueden intercambiar a través de contratos, en el mercado, en subastas mensuales organizadas por el CENACE o en una liquidación anual (CRE, 2016).

La Secretaría de Energía es la responsable de fijar el porcentaje obligatorio de consumo de electricidad proveniente de energía limpia. En 2015, se estableció dicho requisito en 5% del consumo total de energía a ser cumplido en el 2018, año en que entran en operación los CEL. Quienes no cumplan con la obligación de adquirir CEL

tendrán que pagar una multa y seguirán contando con la obligación de comprar los CEL que no fueron liquidados en el momento debido (CRE, 2016).

*Un CEL equivale a una tonelada de CO<sub>2</sub> que se deja de emitir a la atmósfera* y son instrumentos de mercado, por lo tanto, los participantes del mercado podrán presentar ofertas para vender y comprar CEL a cualquier precio, por lo que su precio no es fijo, sino que depende de la oferta y la demanda. Para la presente investigación se tomará el valor actual promedio (2016) de los Certificados de Reducción de Emisiones de la Unión Europea (CER), pues es la región dónde estos instrumentos permanecen con mayor vigencia y actividad de compra venta, además, marcan la pauta a nivel mundial sobre la fluctuación de sus precios. De acuerdo a lo anterior, en el mercado el costo promedio anual de los CER del primero de enero al 31 de octubre de 2016 fue de \$ 5.40 dólares, presentando una tendencia a la baja promedio en el mismo periodo de -1.98% (Investing y SENDECO2, 2016).

Tabla 6.4 Precio de mercado de los Certificados de Reducción de Emisiones (CER)

Mes	Precio Máximo CER (USD\$/MWh)	Precio Mínimo CER (USD\$/MWh)	Promedio CER (USD\$/MWh)	Variación %
<b>Octubre</b>	6.14	5.02	5.58	-1.98%
<b>Septiembre</b>	5.37	3.87	4.62	10.96%
<b>Agosto</b>	4.97	4.3	4.635	0.90%
<b>Julio</b>	5.08	4.28	4.68	-0.89%
<b>Junio</b>	6.38	4.34	5.36	-26.72%
<b>Mayo</b>	6.55	5.65	6.1	-1.29%
<b>Abril</b>	7.07	4.91	5.99	18.39%
<b>Marzo</b>	5.24	4.7	4.97	4.19%
<b>Febrero</b>	6.16	4.62	5.39	-17.46%
<b>Enero</b>	8.33	5.61	6.97	-26.78%
			<b>Promedio anual 5.4</b>	Variación anual -1.98%

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2; 2016

De acuerdo al cálculo anterior en donde podemos observar los precios de mercado de los CER durante el año 2016, el beneficio económico calculado de 5.4

USD\$/MWh generado de manera limpia, es atribuible a cualquiera de las tecnologías analizadas en el presente trabajo y se muestra en la tabla 6.5.

Tabla 6.5 Valor promedio anual de los CER para cada tipo de tecnología analizada

<b>Fuente de generación eléctrica</b>	<b>Valor del CER (USD\$/MWh)</b>
Energía eólica	5.4
Energía solar	5.4
Energía hidráulica	5.4
Energía geotérmica	5.4

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2; 2016

Para el caso en particular de la energía eólica, se puede observar que el beneficio económico de un CER(5.4 USD\$/MWh)es cuatro veces mayor en términos económicos que el costo de las externalidades causadas por ésta (1.2USD\$/MWh).

Además es importante señalar que en términos porcentuales, el beneficio económico de los CER representa aproximadamente el 10% de costo de la producción de energía eólica (65USD\$/MWh), un porcentaje considerable y que puede representar un incentivo para continuar desarrollándola y así continuar con la curva de aprendizaje tecnológico que permita bajar sus costos.

### **6.5. Resultados de la energía eólica**

Una vez que se han identificado y cuantificado tanto los costos como los beneficios de la producción de energía eólica, se podrá calcular el Costo Neto de Producción (CNP) de ésta y posteriormente evaluar la viabilidad económica (FC), tomando en cuenta el factor ambiental de la generación de electricidad con aerogeneradores de acuerdo con las ecuaciones mostradas en el capítulo 5.

Con la información disponible, ha sido posible concentrar los datos de costos internos y externos en la tabla 6.6. Por lo tanto, el valor de las externalidades positivas, derivado de la generación de energía eléctrica con fuentes renovables, es la suma de los ingresos monetarios por venta de los CER que obedecen a los MWh generados sin emitir GEI a la atmósfera.

Como se ha explicado anteriormente en este capítulo, la cuantificación de las externalidades negativas de la energía eólica, está en función de las afectaciones que provoca al entorno, específicamente en la etapa de construcción de la central generadora. Estas externalidades no se producen al generar electricidad con los aerogeneradores, se producen en la fabricación de los componentes y en la instalación de los mismos. El ACB debe internalizar dichos costos e incluirlos dentro del cálculo del CNP como externalidades negativas.

## 6.6. Análisis Costo-Beneficio

### Costo Neto de Producción de la energía eólica

Tabla 6.6 Análisis Costo Beneficio: Costo Neto de Producción de la energía eólica en México

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
Costo promedio de generación USD\$/MWh	65
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	1.2
<b>Costos de generación USD\$/MWh</b>	<b>66.2</b>
Valor de externalidades positivas (venta de CER)	-5.4
<b>Costo Neto de Producción USD\$/MWh</b>	<b>60.8</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014

A continuación se sustituirán los valores calculados en la tabla de ACB 6.6 utilizando la ecuación 1 expuesta en el capítulo 5, para calcular el costo neto de producción de la energía eólica, restando los costos identificados, de los beneficios, e internalizando las externalidades ambientales.

$$CNP = \sum_{c=i}^C C_i - \sum_{b=i}^B B_i$$

Ecuación (1)

Donde:

$CNP$ = Costo Neto de Producción

$B_i$  = Valor de los beneficios o ingresos

$C_i$  = Valor de los costos de generación

Sustituyendo los valores conocidos en la ecuación 1 el resultado es el siguiente:

$$CNP = 65 + 1.2 - 5.4 = 60.8 \text{ USD\$/MWh}$$

Con la información disponible ha sido posible calcular el  $CNP$  asociado con el proceso generación de energía eólica. En la tabla 6.6 y en la ecuación 1, que muestran los resultados del Análisis Costo Beneficio, se puede observar que el  $CNP$  es de 60.8 \$USD/MWh. Estos costos incluyen los costos de capital tales como el costo de las turbinas, costos financieros y balance del sistema eléctrico; los costos operativos necesarios para asegurar el correcto funcionamiento de la central, tales como mano de obra, materiales, revisiones, reparaciones; y los costos financieros como los seguros y el financiamiento; un factor de planta de 39.6%; y le fueron incluidos los costos de las externalidades ambientales positivas por la venta de CER, así como los costos de las externalidades negativas por los gases emitidos en la fabricación de los aerogeneradores y en la instalación de los mismos.

Se debe aclarar que los precios de los CER en el balance de costos beneficios realizado, se expresan con números negativos (-5.4 \$USD/MWh) con el objeto de restar ese monto de los costos totales de generación de energía, sin embargo este valor es positivo, así debe ser interpretado, puesto que representa -en el balance-un ingreso por daño evitado.

### Evaluación de la viabilidad económica de la energía solar

Continuando con el ACB, se realizarán los cálculos para evaluar la viabilidad económica de la energía solar, considerando el precio de venta en México de la energía eléctrica en 2016. Para ello se utilizará la ecuación 2 (expresada en el capítulo 5) en la que se encontrarán, de manera desagregada, los términos que representan los factores ambientales y financieros. Tal como se muestra a continuación:

$$FC = \sum_{j=1}^J Ep_j + \sum_{z=1}^Z Iz - \sum_{b=1}^B En_b - \sum_{n=i}^N Ci$$

Ecuación (2)

Dónde:

$FC$ = Flujo de caja

$Ep_j$ = Valor de las externalidades positivas de  $j$

$En_b$ = Valor de las externalidades negativas de  $b$

} Términos ambientales

$Iz$ = Valor de los ingresos de  $z$  por venta de energía

$Ci$ = Valor de los costos de generación  $i$

} Términos financieros

Para conocer si son económicamente viables las energías renovables desde el punto de vista del ACB, se deben sustituir los valores calculados anteriormente en la ecuación 2, y de esta forma comprobar, para cada tipo de tecnología de generación, si el Flujo de Caja es mayor que cero ( $FC > 0$ ), lo cual indicaría que hay más ingresos que costos y por lo tanto se estará hablando de un proyecto económicamente viable. En caso contrario, si el Flujo de Caja resulta menor que cero ( $FC < 0$ ), entonces el proyecto se considera inviable en el ámbito económico.

En cuanto a los términos ambientales, si el valor de las externalidades positivas es mayor que el valor de las negativas ( $Ep_j > En_b$ ), entonces se trata de un proyecto ambientalmente viable. En caso de que suceda lo opuesto y las externalidades

positivas sean menores que las negativas ( $Epj < Enb$ ), estaremos en presencia de un proyecto ambientalmente inviable.

Sobre los términos financieros, se debe precisar que el Valor de los ingresos por venta de energía ( $Iz$ ) para la presente investigación, será de 48.42 USD\$/MWh, pues éste es el precio oficial establecido por la CFE (2016), quién es el único organismo autorizado para vender energía eléctrica en México. Por último, el Valor de los costos de generación ( $Ci$ ) será tomado -al igual que para el cálculo del CNP- del modelo a gran escala para estimarlos costos de producción de electricidad con turbinas de viento de *National Renewable Energy Laboratory* (2014).

Sustituyendo los valores en la ecuación (2) se obtiene el siguiente resultado:

$$FC = 5.4 + 48.42 - 1.2 - 65 = -12.38 \text{ USD\$/MWh}$$

El resultado de la fórmula se esquematiza en la tabla 6.7 que se muestra a continuación:

Tabla 6.7 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica y ambiental de la energía eólica

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
Precio de venta de la energía eléctrica en México	48.42
Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)	5.4
<b>Ingresos financieros</b>	<b>53.82</b>
Costo promedio de generación USD\$/MWh	-65
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	-1.2
<b>Costo de Generación USD\$/MWh</b>	<b>-66.2</b>
<b>Flujo de Caja (FC) USD\$/MWh</b>	<b>-12.38</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; CFE, 2016

Como se puede observar en la ecuación (2), el resultado del FC para la energía eólica es negativo (-12.38 USD\$/MWh), es decir, el cálculo resultante para el Flujo de Caja es menor que cero ( $FC < 0$ ), por lo tanto el proyecto no es viable en términos económicos aun incluyendo los beneficios financieros de las externalidades positivas que al ser de 5.4 USD\$/MWh representan el 10% de los ingresos financieros, mientras que las externalidades negativas representan solo el 1.8% del costo de generación.

Lo anterior se puede explicar por el subsidio gubernamental en México, que forma parte integral de su política energética, que en promedio reduce las tarifas eléctricas en un 65% de su costo de producción nominal (González, 1999), por lo que el ingreso por precio de ventana permite que exista viabilidad económica o rentabilidad.

A pesar del resultado negativo en el análisis de viabilidad económica de la energía eólica, se debe destacar que el Costo Neto de Producción calculado, fue de 60.8 USD\$/MWh, valor muy por debajo del costo de producción de energía eléctrica actual en México con fuentes fósiles y de ciclo combinado, el cual es de 5.27 MXP\$/KWh (CFE, 2016), equivalente a 277.36 USD\$/MWh, monto que (sin cuantificar el valor de las externalidades) representa 456% más que el costo de generación de la energía eólica.

Lo anterior muestra un panorama ambiental optimista en cuanto a la generación de la energía eólica y demuestra que la producción de electricidad con aerogeneradores es más económica que producirla con fuentes fósiles. Sin embargo la presente tesis pretende calcular el costo de generación de la energía eléctrica con fuentes renovables y posteriormente comparar el costo de cada una de ellas con el costo de producción de la gasolina en México, por lo que el dato del costo de generación actual de electricidad con fuentes convencionales solo debe servir para tener un panorama más amplio de la industria eléctrica en México.

En relación al valor de las externalidades, las negativas son menores que las positivas y se cumple con la desigualdad  $E_{pj} > E_{nb}$  por lo que se concluye que ambientalmente es viable la generación de energía eólica.

## 6.7. Resultados de la energía solar

La situación en México para las energías renovables aparentemente ha cambiado con la reforma energética del año 2015, ahora la Ley de transición energética obliga al Estado a promover el aprovechamiento de fuentes renovables de energía mediante la adopción de nuevas tecnologías, para lo cual, la energía solar presenta una oportunidad de lograr ese objetivo y cumplir con la ley.

En el mismo sentido, en el país se tiene un importante potencial de aprovechamiento de ésta energía, pues se localiza geográficamente entre los 14° y 33° de latitud septentrional, esta característica resulta ideal para el aprovechamiento de la energía solar, pues la irradiación global media diaria en el territorio nacional, es de alrededor de 5.5 kWh/m<sup>2</sup>/d, siendo uno de los países con mayor potencial de aprovechamiento de la energía solar en el mundo (SENER, 2012).

La energía solar ha ido ganando terreno en cuanto a generación de electricidad, cada vez más equipos de energía solar fotovoltaica son instalados para aprovecharla. En 2015, el mercado de la energía solar se incrementó un 25% con respecto al 2014, mientras que la capacidad mundial de energía solar en el mercado anual del 2015 fue 10 veces mayor a la de hace una década (REN 21, 2016).

Los estudios de viabilidad son herramientas esenciales en el proceso de toma de decisiones para la ejecución de proyectos de energías renovables como la solar. En las últimas décadas se ha producido rápidamente un creciente reconocimiento de la necesidad de implementar la sostenibilidad en la gestión de los energéticos, por lo tanto, las consideraciones económicas son de gran importancia a la hora de evaluar el potencial de los proyectos de energías limpias. Sin embargo, los impactos económicos internos y externos de proyectos de energía no son identificados y cuantificados en el análisis de viabilidad económica convencional, lo cual debe cambiar con el objetivo de que los efectos externos sean considerados por el mercado, por lo que se requieren métodos y herramientas de valoración económica para su cuantificación y en consecuencia, los verdaderos beneficios y costos de los proyectos sean considerados de forma adecuada.

## Costo de producción de la energía solar

Al igual que la energía eólica, los criterios asociados a la producción de energía solar fotovoltaica tienen la misma categoría de costos. Estos indicadores constan de cuatro entradas básicas: 1) costos de capital; 2) costos operativos o de funcionamiento anuales; 3) producción de energía anual; y 4) el índice o factor de planta.

Con base en los datos de la SENER: *Perspectivas de las energías renovables 2012-2026*, sobre los costos de capital y los costos característicos de la energía, se obtienen los datos sobre costo promedio de generación de la energía solar fotovoltaica en México que se muestran a continuación en la tabla 6.8.

Tabla 6.8 Costo promedio de generación de la energía solar fotovoltaica en México

Conceptos	Mínimo (USD\$ / MWh)	Máximo (USD\$ / MWh)	Costo Promedio (USD\$ / MWh)
Costos característicos de la energía solar	200	370	285

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2012

Se puede observar que el costo promedio de generación de energía solar (sin considerar las externalidades) es de 285 USD\$/MWh, monto que resulta considerablemente mayor que el de la energía eólica (65 USD\$/MWh) y que se puede explicar con la baja eficiencia o factor de planta que reporta la SENER con un rango del 15 a 27%, un rango de capacidad de generación de 2.5 a 100 MW y un costo de capital de 18,300 a 23,500 USD\$/MWh.

## Valor de las externalidades de la energía solar

De acuerdo a la metodología ExternE (vías de impacto), se les ha asignado un valor económico a las externalidades de la energía solar, pero al igual que con la energía eólica, éstas externalidades se dan en el proceso de fabricación de los componentes y paneles solares, en la instalación de éstos en las centrales, en el daño a la vegetación y en el cambio de uso de suelo por el costo de oportunidad.

Tabla 6.9 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables

<b>País</b>	<b>Hidroeléctrica (USD\$/MWh)</b>	<b>Eólica (USD\$/MWh)</b>	<b>Geotérmica (USD\$/MWh)</b>	<b>Solar (USD\$/MWh)</b>
<b>México</b>	2.9	1.2	11.8	<b>5.0</b>

Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2010)

Como se puede apreciar en la tabla 6.9, el valor de las externalidades negativas de la energía solar es de 5 USD\$/MWh, lo cual representa el 1.75% del costo promedio de producción calculado en la tabla 6.9. Aunque el valor de estas externalidades es mayor que las de la energía eólica e incluso mayor que la hidroeléctrica, representa un porcentaje relativamente bajo. Sin embargo aunque parezcan irrelevantes, todos los costos se deben incluir en el ACB.

### **Beneficios ambientales o externalidades positivas de la generación de energía solar**

Al igual que el resto de las energías limpias, cuando se habla de los beneficios ambientales de la energía solar, se habla de las toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas al generar electricidad con la radiación solar. Estas emisiones evitadas son consideradas como externalidades positivas y tiene un valor en el mercado.

Para todas las energías analizadas en la presente investigación, se tomará el valor actual promedio (2016) de los Certificados de Reducción de Emisiones de la Unión Europea (CER) descritos en la tabla 6.4 y reproducido en la tabla 6.10 que se muestra a continuación.

Tabla 6.10 Beneficio económico por venta de CER por la generación de energía solar

<b>Fuente de generación eléctrica</b>	<b>Valor del CER(USD\$/MWh)</b>
Energía solar	5.4

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2; 2016

Del valor de los CER se desprende que las externalidades positivas (5.4 USD\$/MWh) son ligeramente mayores al valor de las externalidades negativas (5.0 USD\$/MWh),

lo cual significa que los impactos positivos no tendrán mayor repercusión en la valoración económica por lo que puede inhibir el desarrollo y crecimiento de este tipo de energía.

Es importante señalar que el valor del CER representa el 1.9% del costo promedio de producción de la energía solar (calculado en la tabla 6.9), lo cual tampoco es una buena noticia, puesto que se trata de un porcentaje poco relevante que difícilmente podría ser un incentivo para producir energía solar, sin embargo, el crecimiento de ésta puede obedecer a otras variables no consideradas, tales como la inagotabilidad de la fuente.

## 6.8. Análisis Costo-Beneficio

### Costo Neto de Producción de la energía solar

Una vez que se ha identificado y cuantificado el valor de las externalidades y el costo promedio de producción, se realizará un ACB para calcular el Costo Neto de Producción (CNP) de la energía solar desarrollando la ecuación 1.

$$CNP = \sum_{c=i}^C C_i - \sum_{b=i}^B B_i$$

Ecuación (1)

Donde:

$CNP$  = Costo Neto de Producción

$B_i$  = Valor de los beneficios o ingresos

$C_i$  = Valor de los costos de producción

Sustituyendo los valores en la ecuación 1 el resultado es el siguiente:

$$CNP = 285 + 5 - 5.4 = 284.6 \text{ USD\$/MWh}$$

A continuación se desarrolla la tabla 6.11 con los resultados obtenidos en la ecuación 1.

Tabla 6.11 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto Producción de la energía solar en México

<b>Conceptos</b>	<b>Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh</b>
Costo promedio de generación USD\$/MWh	285
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	5
<b>Costos de generación USD\$/MWh</b>	<b>290</b>
Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)	-5.4
<b>Costo Neto de Producción USD\$/MWh</b>	<b>284.6</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014

Nuevamente se tiene que aclarar que los valor de los CER se expresa con números negativos con el objeto de restar ese monto al costo promedio y a las externalidades negativas de la generación de energía, sin embargo es un valor positivo y se debe a los beneficios ambientales que se traducen en un ingreso adicional por la generación de MWh sin emitir GEI a la atmósfera.

De acuerdo al resultado del ACB, se observa que el CNP es de 284.6 USD\$/MWh, el cual es significativamente más alto que el de la energía eólica. Esta cifra se puede explicar por el costo de la tecnología que aún no se desarrolla en la medida que lo han hecho los aerogeneradores por ejemplo. Sin embargo, es probable que a medida que la curva de aprendizaje tecnológico avance, los CNP de la energía solar disminuyan, así como sus externalidades por el uso de materiales menos contaminantes para la fabricación de paneles solares.

## Evaluación de la viabilidad económica de la energía solar

Una vez obtenido el CNP de la energía solar mediante un ACB por medio del cual se logró internalizar los costos externos, se realizarán los cálculos necesarios para evaluar la rentabilidad o también llamada viabilidad económica de las centrales solares. Para ello se debe incluir en el análisis el precio de venta en México de la energía eléctrica y desarrollar los cálculos de la ecuación 2, con la que se podrá identificar si la producción de energía solar fotovoltaica es viable desde el punto de vista económico.

$$FC = \sum_{j=1}^J Ep_j + \sum_{z=1}^Z Iz - \sum_{b=1}^B Enb - \sum_{n=i}^N Ci$$

Ecuación (2)

Dónde:

$FC$ = Flujo de caja

$Ep_j$ = Valor de las externalidades positivas de  $j$

$Enb$ = Valor de las externalidades negativas de  $b$

$Iz$ = Valor de los ingresos de  $z$  por venta de la energía

$Ci$ = Valor de los costos de generación  $i$

} Términos ambientales

} Términos financieros

Desarrollando la ecuación 2 con los valores ya conocidos y agregando el valor del precio de venta de la energía eléctrica en México (48.42 USD\$/MWh), se obtiene el siguiente resultado:

$$FC = 5.4 + 48.42 - 5 - 285 = -236.18 \text{ USD\$/MWh}$$

La tabla 6.12 muestra los resultados obtenidos en la ecuación 2.

Tabla 6.12 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica de la energía solar

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
Precio de venta de la energía eléctrica en México	48.42
Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)	5.4
Ingresos financieros	<b>53.82</b>
Costo promedio de generación USD\$/MWh	-285
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	-5
Costo de Generación USD\$/MWh	<b>-290</b>
Flujo de Caja (FC) USD\$/MWh	<b>-236.18</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; CFE, 2016

De acuerdo al cálculo anterior, la energía eólica arroja un Flujo de Caja negativo: (-236.18 USD\$/MWh), es decir  $FC < 0$ , por lo tanto el proyecto no es viable en términos económicos, aun incluyendo los beneficios financieros de las externalidades positivas que al ser de 5.4 USD\$/MWh representan el 10% de los ingresos del Flujo de Caja, mientras que las externalidades negativas (5 USD\$/MWh) representan el 1.75% del costo de generación.

Una vez más, el resultado de la inviabilidad económica se puede explicar con el bajo precio de venta que tiene la energía eléctrica en México debido al subsidio del 65% que ésta tiene.

Es importante señalar, que aun cuando el ACB refleja que la energía solar no es viable en términos económicos, el Flujo de Caja calculado es menor al costo de producción actual de la energía eléctrica en México con fuentes convencionales, el

cual es de 277.36 USD\$/MWh (CFE, 2016), por lo que no debería descartarse como una opción factible de producción eléctrica.

En cuanto al valor de las externalidades, se cumple la desigualdad  $Enb < Epj$ , por lo que ambientalmente es viable la generación de energía solar. En este sentido, es probable que la viabilidad ambiental de la energía solar, y en general de las energías renovables, pudiera mejorar si el análisis se realizara de manera longitudinal, dado que las externalidades al producir energía eléctrica con ellas, tendrán impactos positivos a lo largo del tiempo, por lo que no se descarta para futuras investigaciones realizar éste tipo de análisis para conocer en qué punto existe la mayor viabilidad ambiental para este tipo de energías.

### **6.9. Resultados de la energía hidráulica**

La participación de las energías renovables depende de varios factores, entre ellos, los tamaños de las economías, el grado de avance de las tecnologías y el estado de sus políticas energéticas. En este sentido cabe mencionar que México tiene un marco legal que contempla un incremento gradual de la participación de las energías limpias en la industria eléctrica, lo que ha permitido que se encuentre a la par de países como Estados Unidos y Canadá en cuanto a la producción de hidroelectricidad, pero por debajo de las participaciones presentadas por Brasil y Venezuela que cuentan con recursos y desarrollos hidráulicos mayores (REN 21, 2016).

Este tipo de energía juega un papel importante en la reducción de las emisiones de GEI, así lo indican estimaciones en las cuales se establece que si se desarrollara la mitad del potencial de energía hidroeléctrica se podrían reducir alrededor de 13% de dichas emisiones (SENER, 2012). Adicional a lo anterior y más allá de lo benéfico que pueda ser para el medio ambiente, la energía hidráulica juega un papel relevante, pues representa una de las principales fuentes de generación de energía eléctrica, proporcionando alrededor del 16.6% de la electricidad mundial (REN 21, 2016), sin embargo, el elevado costo que implica la construcción de una central hidroeléctrica y las dificultades para aprovechar los grandes afluentes hídricos, son algunas de las

razonas por las que ha presentado un bajo crecimiento, que va de 2% a 3% en el periodo 2001-2011, mientras que en el año 2015, se calcula que la producción mundial aumentó menos de 1% (SENER, 2012).

### Costo de producción de la energía hidráulica

Los indicadores para calcular los costos de la energía eléctrica son homogéneos para las energías renovables objeto de estudio. Por lo tanto, para realizar el análisis de las centrales hidroeléctricas se tomarán las siguientes cuatro categorías de costos: 1) costos de capital; 2) costos operativos o de funcionamiento anuales; 3) producción de energía anual; y 4) el índice o factor de planta, los cuales se muestran en la tabla 6.13.

Tabla 6.13 Categorías de costos para la generación de energía eléctrica

1)	Costos de capital
2)	Costos operativos anuales
3)	Producción de energía anual
4)	Factor de planta

Fuente: Elaboración propia con datos de Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, 2014)

En el documento *Perspectivas de las energías renovables 2012-2026* de la SENER, se proporcionan los datos sobre los costos de capital y los costos característicos de la energía eléctrica, así, se obtienen los datos sobre costo promedio de producción de la energía hidráulica en México que se muestran a continuación en la tabla 6.14.

Tabla 6.14 Costo promedio de producción de la energía en centrales hidroeléctricas (en red) en México

Conceptos	Mínimo (USD\$ / MWh)	Máximo (USD\$ / MWh)	Costo Promedio (USD\$ / MWh)
Costos característicos de la energía hidráulica	50	100	75

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2012

En los resultados de la tabla 6.5 se puede observar que el costo promedio de producción hidroeléctrica (sin considerar las externalidades) es de 75 USD\$/MWh, con lo que se sitúa muy por debajo de la energía solar fotovoltaica cuyo costo de

generación promedio es de 280 USD\$/MWh, ligeramente por encima que el de la energía eólica (65 USD\$/MWh).

El factor de planta reportado por la SENER para las centrales hidroeléctricas va de 30 a 60%, el tipo de almacenamiento es corriente de río, con un tamaño de planta de hasta 18,000 MW, y con costos de capital de 20,000 a 40,000 USD\$/MWh.

Es importante señalar que el análisis se realizará para las centrales hidroeléctricas en red, cuyo costo de generación es menor al de las pequeñas hidroeléctricas fuera de red, ya que éstas tienen limitadas y pequeñas capacidades de generación y el costo de producción por cada MW llega a ser mucho mayor que el de las hidroeléctricas de gran capacidad.

### **Valor de las externalidades de la hidroenergía**

De acuerdo a la metodología ExternE (vías de impacto), se les ha asignado un valor económico a las externalidades negativas de la energía hidráulica, éstas externalidades se dan producto de la construcción de grandes presas, pues en este proceso ocurre una importante degradación del ecosistema lo cual genera emisiones de gas metano (CH<sub>4</sub>). El metano en la naturaleza se produce como resultado final de la putrefacción anaeróbica de las plantas al construir las presas.

El metano es un GEI relativamente potente y tiene un potencial de calentamiento global de 23, esto significa que en una medida de tiempo de 100 años, cada kg de CH<sub>4</sub> calienta la Tierra 23 veces más que la misma masa de CO<sub>2</sub>, sin embargo hay aproximadamente 220 veces más dióxido de carbono en la atmósfera de la Tierra que metano, por lo que el metano contribuye de manera menos importante al efecto invernadero (SENER, 2012).

Finalmente se debe agregar que una vez contempladas las externalidades negativas en el proceso de construcción de las presas hidroeléctricas, la generación de electricidad se da de manera limpia y las externalidades producidas son positivas.

Mediante una evaluación de SENER, CEPAL y CFE se asignaron valores económicos a las externalidades negativas de las energías renovables en México, mismos que se aprecian a continuación en la tabla 6.15 (CRE, 2010).

Tabla 6.15 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables

País	Hidroeléctrica (USD\$/MWh)	Eólica (USD\$/MWh)	Geotérmica (USD\$/MWh)	Solar (USD\$/MWh)
<b>México</b>	<b>2.9</b>	1.2	11.8	5.0

Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2010)

En la tabla 6.15 se puede apreciar que el valor de las externalidades de la energía hidroeléctrica es de 2.9 USD\$/MWh, valor que representa el 3.8% de su costo promedio de generación calculado en la tabla 6.14.

### **Beneficios ambientales o externalidades positivas de la generación de energía hidráulica**

Como se mencionó anteriormente, la energía hidráulica juega un papel importante en la reducción de las emisiones de GEI, pues al producirse de manera limpia, se evita la emisión de CO<sub>2</sub>. Al evitar las emisiones de GEI se generan externalidades positivas y éstas tienen un valor de mercado.

Para la energía hidráulica al igual que para el resto de las energías renovables analizadas en la presente investigación, se tomará el valor promedio de los Certificados de Reducción de Emisiones de la Unión Europea (CER) del año 2016, por considerarse los instrumentos de este tipo con mayor vigencia y actividad de compra venta.

Los valores fueron antes descritos en la tabla 6.4 y se reproducen en la tabla 6.16 que se muestra a continuación.

Tabla 6.16 Beneficio económico por venta de CER en la generación de energía hidroeléctrica

Fuente de generación eléctrica	Valor del CER (USD\$/MWh)
Energía hidráulica	5.4

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2; 2016.

En la tabla 6.16 se aprecia que el valor de las externalidades positivas por venta de CER es casi dos veces mayor al valor de las externalidades negativas (2.9 USD\$/MWh). Esto puede representar un incentivo para desarrollar proyectos hidráulicos en la medida que sus costos de producción o generación no sean tan elevados.

Adicionalmente es importante señalar que el valor de las externalidades positivas representa el 7.2% del costo promedio de generación (calculado en la tabla 6.15). Este porcentaje es de consideración y puede representar un factor favorable que incida en el desarrollo de proyectos de energía hidráulica.

## 6.10. Análisis Costo-Beneficio

### Costo Neto de Producción de la energía hidroeléctrica

Una vez identificado y cuantificado el valor de las externalidades positivas y negativas, así como el costo promedio de generación, se realizará un ACB para calcular el Costo Neto de Producción (CNP) de la energía hidráulica desarrollando la ecuación 1.

$$CNP = \sum_{c=i}^C C_i - \sum_{b=i}^B B_i$$

Ecuación (1)

Donde:

$CNP$  = Costo Neto de Producción

$B_i$  = Valor de los beneficios o ingresos

$C_i$  = Valor de los costos de generación

Sustituyendo los valores en la ecuación 1 el resultado es el siguiente:

$$CNP = 75 + 2.9 - 5.4 = 72.5 \text{ USD\$/MWh}$$

En la tabla 6.17, que se muestra a continuación, se aprecian los resultados obtenidos en la ecuación 1.

Tabla 6.17 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto de la Generación hidroeléctrica en México

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
Costo promedio de generación USD\$/MWh	75
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	2.9
Costos de generación USD\$/MWh	<b>77.9</b>
Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)	-5.4
Costo Neto de Producción USD\$/MWh	<b>72.5</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014

Es necesario aclarar que el valor de las externalidades positivas en el balance de costo beneficio, se expresa con números negativos con el objeto de restar ese monto al costo promedio y a las externalidades negativas de la generación de energía. Sin embargo en realidad se trata de un valor positivo que proviene del ingreso adicional por venta de CER.

El resultado del ACB al calcular el CNP es de 72.5 USD\$/MWh, valor que resulta muy bajo en relación a la energía solar (284.6 USD\$/MWh), y solo un poco por encima de la energía eólica (60.8 USD\$/MWh), situación que pone en perspectiva las ventajas económicas competitivas de la hidroenergía.

Con respecto a las externalidades, el ACB arroja un balance positivo, ya que las externalidades negativas representan el 4% del CNP, mientras que las positivas representan el 7.4%.

### Evaluación de la viabilidad económica de la energía hidráulica

Mediante un ACB se ha realizado el cálculo del CNP de la energía hidroeléctrica por medio del cual se logró internalizar los costos externos y el resultado en cuanto a viabilidad ambiental fue positivo. Una vez realizado el análisis anterior, con la misma herramienta metodológica ACB, se desarrollará la ecuación 2 que permite incluir el precio de venta de la generación de energía eléctrica en México, sumando éste a los beneficios del proyecto hidroeléctrico. Con ello se evaluará su viabilidad económica o rentabilidad, tal como se muestra a continuación:

$$FC = \sum_{j=1}^J Ep_j + \sum_{z=1}^Z Iz - \sum_{b=1}^B Enb - \sum_{n=i}^N Ci$$

Ecuación (2)

Dónde:

$FC$ = Flujo de caja

$Ep_j$ = Valor de las externalidades positivas de  $j$

$Enb$ = Valor de las externalidades negativas de  $b$

} Términos ambientales

$Iz$ = Valor de los ingresos de  $z$  por venta de la energía

$Ci$ = Valor de los costos de generación  $i$

} Términos financieros

Al sustituir los valores en la ecuación 2, se logrará verificar la viabilidad económica y ambiental de la energía solar; si el  $FC > 0$ , entonces estamos en presencia de un proyecto económicamente viable, mientras que si el resultado del cálculo es  $FC < 0$ , entonces el proyecto no es viable en términos económicos. En cuanto a los términos ambientales si  $Ep_j > Enb$  entonces se trata de un proyecto ambientalmente viable,

mientras que si  $Epj < Enb$  estaremos en presencia de un proyecto que no es viable en términos ambientales.

Desarrollando la ecuación 2 con los valores calculados y agregando el valor del precio de venta de la energía eléctrica en México el cual es de 48.42 USD\$/MWh, se obtiene el siguiente resultado:

$$FC = 5.4 + 48.42 - 2.9 - 75 = -24.08 \text{ USD\$/MWh}$$

La tabla 6.18 se muestran los resultados obtenidos en la ecuación 2.

Tabla 6.18 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica y ambiental de la energía hidráulica

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
Precio de venta de la energía eléctrica en México	48.42
Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)	5.4
Ingresos financieros	53.82
Costo promedio de generación USD\$/MWh	-75
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	-2.9
Costo de Generación USD\$/MWh	-77.9
Flujo de Caja (FC) USD\$/MWh	-24.08

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; CFE, 2016

Analizando los resultados anteriores, la energía hidroeléctrica arroja tiene un Flujo de Caja negativo de -24.08 USD\$/MWh, por lo tanto, como el  $FC < 0$ , el proyecto no es viable en términos económicos.

Al igual que la energía eólica y la solar, la energía hidroeléctrica resultó inviable económicamente en el ACB ya que el precio de venta de la energía en México es muy bajo debido al subsidio gubernamental del 65%.

Cabe destacar que si no existiera el porcentaje de subsidio referido, la energía hidroeléctrica sería una de las más rentables en México por su bajo Costo Neto de Producción.

Una vez más es imprescindible señalar que aun cuando el ACB para la energía hidroeléctrica refleja la no viabilidad económica, su CNP es 382.5% mayor menor que el costo actual de generación de energía eléctrica en México con fuentes fósiles, el cual es de 277.36 USD\$/MWh (CFE, 2016).

En cuanto al valor de las externalidades, se cumple la desigualdad  $Epj > Enb$ , por lo que se concluye que la hidroenergía es ambientalmente viable.

### **6.11. Resultados de la energía geotérmica**

La energía geotérmica es un recurso renovable y representa una de las principales fuentes limpias de producción eléctrica. Al igual que la energía hidráulica, la geotérmica presenta un modesto crecimiento a nivel mundial, ya que la tasa anual de crecimiento promedio en el consumo de calor geotérmico de uso directo ha sido solo un poco mayor al 3%(REN 21, 2016).

Durante el 2015 la capacidad calorífica renovable (producto de la energía geotérmica) aumentó en alrededor de 38 gigavatios-térmicos (GWt), este crecimiento se produjo a pesar de los bajos precios del crudo, los subsidios en petrolíferos, además de otros retos respecto a las energías renovables como reglamentaciones, barreras normativas y restricciones fiscales (REN 21, 2016).

El aprovechamiento de esta fuente de energía se ha registrado, sobre todo en países como Estados Unidos e Indonesia, sin embargo México en el año 2011 ocupó el cuarto lugar mundial en capacidad instalada con una participación de 7.9% del total mundial con 887 MW (SENER, 2012), además, de los primeros siete países productores de energía geotérmica, solo México y Estados Unidos aumentaron su

capacidad de generación con 53 MW y 71 MW respectivamente (REN 21, 2016). Sin embargo los bajos costos del crudo, aunado con el alto riesgo en proyectos de este tipo, generan condiciones desfavorables para la energía geotérmica.

Para asegurar la eficiencia energética, es imprescindible realizar estudios sobre viabilidad económica que permitan conocer las dimensiones de los proyectos energéticos, sin dejar de lado los efectos ambientales que estos producen.

La Ley de transición energética que entró en vigor en el 2015 tiene por objeto el incremento gradual de la participación de las energías limpias en la industria eléctrica para cumplir, entre otras, las metas establecidas en materia de reducción de emisiones. En la presente investigación se realizará un ACB de la energía geotérmica para conocer si ésta es una alternativa económica y ambientalmente viable que pueda coadyuvar a cumplir los propósitos de la Ley citada y la política energética nacional, que establecen objetivos específicos como la meta de incrementar el porcentaje de energías limpias en la matriz energética a 25% en 2018, 35% en 2024, 40% en 2035 y 50% en 2050.

### **Costo de producción de la energía geotérmica**

Al igual que la energía eólica, los criterios asociados a la producción de energía solar fotovoltaica tienen la misma categoría de costos. Estos indicadores constan de cuatro entradas básicas

Las categorías asociadas a la producción de energías renovables en la presente investigación serán homogéneas, por lo que a continuación se presentan los criterios relacionados con la generación de energía geotérmica:

1) costos de capital; 2) costos operativos o de funcionamiento anuales; 3) producción de energía anual; y 4) el índice o factor de planta, los cuales se muestran en la tabla 6.19.

Tabla 6.19 Categorías de costos para la generación de energía eléctrica

1)	Costos de capital
2)	Costos operativos anuales
3)	Producción de energía anual
4)	Factor de planta

Fuente: Elaboración propia con datos de Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, 2014)

La secretaría de Energía, en su documento *Perspectivas de las energías renovables 2012-2026*, proporciona los datos sobre los costos de capital y los costos máximos y mínimos característicos de la energía eléctrica, así mediante un promedio aritmético, se obtienen los datos sobre costo promedio de generación (CPG) de la energía geotérmica en México que se muestran a continuación en la tabla 6.20.

Tabla 6.20 Costo promedio de generación de la energía geotérmica en México

Conceptos	Mínimo (USD\$ / MWh)	Máximo (USD\$ / MWh)	Costo Promedio (USD\$ / MWh)
<b>Costos característicos de la energía solar</b>	57	84	70.5

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2012

Los resultados de la tabla 6.5 muestran que el costo promedio de generación de energía geotérmica es de 70.5 USD\$/MWh, y se sitúa dentro del análisis como la segunda energía con menor precio, solo después de la energía eólica cuyo costo promedio fue de 65 USD\$/MWh.

El factor de planta reportado por la SENER para los costos reportados de la energía geotérmica va del 30 al 60%, las tecnologías de condensación reportadas son ciclo binario, simple, con doble flash y vapor natural, mientras que la capacidad de planta va de 1 a 100 MW.

### Valor de las externalidades de la energía geotérmica

De acuerdo a la metodología ExternE (vías de impacto), se les ha asignado un valor económico a las externalidades de la energía solar, pero al igual que con la energía

eólica, éstas externalidades se dan en el proceso de fabricación de los componentes y paneles solares, en la instalación de éstos en las centrales, en el daño a la vegetación y en el cambio de uso de suelo por el costo de oportunidad.

De acuerdo a la metodología ExterneE (vías de impacto), se les ha asignado un valor a las externalidades de la energía geotérmica. Al no quemar ningún tipo de combustible ni emitir gases a la atmósfera al producir electricidad, la geotermia es considerada una tecnología limpia, sin embargo las externalidades que genera son producto de la construcción de las centrales geotérmicas, de las afectaciones al suelo y de la contaminación al agua (SENER, 2012).

Tabla 6.21 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables

País	Hidroeléctrica (USD\$/MWh)	Eólica (USD\$/MWh)	Geotérmica (USD\$/MWh)	Solar (USD\$/MWh)
<b>México</b>	2.9	1.2	<b>11.8</b>	5.0

Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2010)

En la tabla 6.21 se puede apreciar que de acuerdo a la CRE (2010), el valor de las externalidades de la energía geotérmica es de 11.8 USD\$/MWh. Este valor resulta ser el más alto en relación con las otras tecnologías y representa un alto porcentaje de su costo promedio de generación con 16.73%, lo cual refleja un importante impacto ambiental.

### **Beneficios ambientales o externalidades positivas de la generación de energía geotérmica**

Como se mencionó anteriormente, la energía geotérmica tiene importantes beneficios ambientales, pues hacia el 2020 se estima que ésta pueda capturar un 14% de las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> (SENER, 2012).

Los beneficios ambientales de la energía geotérmica son las toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas al producir electricidad las cuales tiene un valor de mercado, el cual se tomará -para la presente investigación- del valor promedio en el año 2016 de los

Certificados de Reducción de Emisiones de la Unión Europea (CER), descritos en la tabla 6.4 se muestra a continuación:

Tabla 6.22 Beneficio económico por venta de CER en la generación de energía geotérmica

Fuente de generación eléctrica	CER(USD\$/MWh)
Energía geotérmica	5.4

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2; 2016

En la tabla 6.22 se aprecia que el valor de las externalidades positivas (5.4 USD\$/MWh) resulta muy por debajo del valor de las externalidades negativas (11.8 USD\$/MWh), lo cual muestra que en el balance ambiental no habrá viabilidad para esta tecnología de generación. Estos datos anteriores tendrán un impacto considerable al momento de analizar la viabilidad económica de la energía geotérmica. Prueba de lo anterior se refleja en que el valor de las externalidades positivas representa únicamente el 7.2% del costo promedio de generación, mientras que el de las negativas es el un poco más del doble (16.7%).

## 6.12. Análisis Costo-Beneficio

### Costo Neto de Producción de la energía geotérmica

Con los valores de las externalidades positivas, negativas y el costo promedio de generación de la energía geotérmica, se realizará un ACB para calcular su Costo Neto de Producción (CNP), el cual incluirá el valor de las externalidades en el balance al desarrollar la ecuación 1.

$$CNP = \sum_{c=i}^C C_i - \sum_{b=i}^B B_i$$

Ecuación (1)

Donde:

$CNP$  = Costo Neto de Producción

$B_i$  = Valor de los beneficios o ingresos

$C_i$  = Valor de los costos de generación

Sustituyendo los valores en la ecuación 1 el resultado es el siguiente:

$$CNP = 70.5 + 11.8 - 5.4 = 76.9 \text{ USD\$/MWh}$$

En la tabla 6.23 que se muestra a continuación, se presentan los resultados obtenidos en la ecuación 1.

Tabla 6.23 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto de Producción de la energía geotérmica en México

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
Costo promedio de generación USD\$/MWh	70.5
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	11.8
Costos de generación USD\$/MWh	<b>82.3</b>
Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)	-5.4
Costo Neto de Producción USD\$/MWh	<b>76.9</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014

Se debe aclarar que el valor de los CER se expresa con números negativos con el objeto de restar ese monto al costo de generación y a las externalidades negativas, no obstante, se trata de un valor positivo que obedece al ingreso adicional por la producción eléctrica libre de emisiones de GEI, lo que significa que por cada tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente que no sea emitida a la atmósfera, el daño impedido o el beneficio ambiental generado es igual a 5.4 USD\$/MWh.

El resultado del ACB para calcular el CNP es de 76.9 USD\$/MWh, el cual es similar al con los CNP de la energía eólica e hidráulica, pero no así de la solar cuyo CNP está muy por encima.

No obstante el moderado costo neto de producción, la energía geotérmica no tiene grandes proyecciones debido a lo complejo que resulta su proceso de exploración, perforación y estimación de las características de la fuente geotérmica. Estos factores constituyen hoy en día las principales barreras para el desarrollo de esta tecnología (SENER, 2012).

### Evaluación de la viabilidad económica de la energía geotérmica

Una vez realizado el ACB para calcular el CNP incluyendo las externalidades, con la misma herramienta metodológica, se desarrollará la ecuación 2, que permite incluir el precio de venta de la generación de energía eléctrica en México. Con ello se evaluará su viabilidad económica o rentabilidad, tal como se muestra a continuación:

$$FC = \sum_{j=1}^J Ep_j + \sum_{z=1}^Z Iz - \sum_{b=1}^B En_b - \sum_{n=1}^N Ci$$

Ecuación (2)

Dónde:

$FC$ = Flujo de caja

$Ep_j$ = Valor de las externalidades positivas de  $j$

$En_b$ = Valor de las externalidades negativas de  $b$

Términos ambientales

$Iz$ = Valor de los ingresos de  $z$  por venta de la energía

$Ci$ = Valor de los costos de generación  $i$

Términos financieros

Desarrollando la ecuación 2 con los valores ya conocidos y agregando el valor del precio de venta de la energía eléctrica en México, el cual es de 48.42 USD\$/MWh, se obtiene el siguiente resultado:

$$FC = 5.4 + 48.42 - 11.8 - 70.5 = -28.48 \text{ USD\$/MWh}$$

A continuación, la tabla 6.24 se muestran los resultados obtenidos en la ecuación 2.

Tabla 6.24 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica energía hidráulica

<b>Conceptos</b>	<b>Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh</b>
<b>Precio de venta de la energía eléctrica en México</b>	48.42
<b>Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)</b>	5.4
Ingresos financieros	<b>53.82</b>
<b>Costo promedio de generación USD\$/MWh</b>	-70.5
<b>Valor de externalidades negativas USD\$/MWh</b>	-11.8
Costo de Generación USD\$/MWh	<b>-82.4</b>
Flujo de Caja (FC) USD\$/MWh	<b>-28.48</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; CFE, 2016

Analizando el resultado del cálculo anterior, la energía geotérmica obtuvo un FC negativo de -28.48 USD\$/MWh, por lo tanto como el  $FC < 0$ , el proyecto no es viable en términos económicos.

Los beneficios monetarios de las externalidades positivas son de 5.4 USD\$/MWh, y representan el 10% de los ingresos financieros. Por su parte, las externalidades negativas suman 2.9 USD\$/MWh y representan el 14.3% de los costos de generación.

Al igual que las tres energías analizadas anteriormente (eólica, solar e hidroeléctrica) la energía geotérmica es inviable en términos económicos, sin embargo, su inviabilidad económica se explica por los subsidios gubernamentales en México, ya que debido a éstos, la electricidad tiene un precio de venta 65% menor a su valor

real. De no existir el subsidio referido, la energía geotérmica sería una de las fuentes limpias más rentables en México por su bajo CNP.

Aun cuando el ACB realizado para la energía geotérmica refleja inviabilidad económica, su CNP es mucho menor que el costo actual de generación de energía eléctrica en México con fuentes fósiles, el cual es de 277.36 USD\$/MWh (CFE, 2016), valor que resulta 360% mayor que el de la geotermia.

Con respecto al análisis de las externalidades, las positivas son menores que las negativas, por lo que se cumple la desigualdad  $Epj < Enb$ , y significa que ambientalmente no es viable la generación de energía geotérmica en México en el análisis transversal, situación que probablemente se pudiera revertir a lo largo de la vida útil de la central, dado que las externalidades provocadas al producir energía a través de los años se dan únicamente en términos positivos, inclinando la balanza hacia la viabilidad ambiental, por lo cual no se descartan futuras investigaciones para conocer en qué punto se obtiene viabilidad ambiental para la energía geotérmica.

### **6.13. Resultados de las gasolinas fósiles**

Como ya se ha mencionado en el capítulo 2, a nivel mundial existe una gran dependencia hacia los combustibles fósiles, lo cual se refleja en la matriz energética global. La situación no es diferente en México ya que los hidrocarburos son la principal fuente de energía primaria en el país, pues aportan más de 90% a su matriz generadora (SENER, 2007)

El uso intensivo de los hidrocarburos, en especial de la gasolina, está provocando el agotamiento de los recursos no renovables del subsuelo e importantes emisiones de GEI, por lo que deben surgir alternativas energéticas viables desde el punto de vista económico y ambiental que sustituyan periódicamente a las tradicionales.

Desde el punto de vista económico se ha detectado un problema de rentabilidad con las gasolinas en México, ya que actualmente solo se tiene la capacidad de producir aproximadamente el 50% en las refinerías nacionales mientras que el restante 50% se importa a precios elevados.

Teniendo en cuenta la escasez de este recurso, la contaminación que genera y los recursos económicos que se utilizan, es indispensable contar con alternativas energéticas para asegurar el abastecimiento energético, disminuir las emisiones y reducir los costos. En este sentido, se realizará un ACB para calcular el costo de producción y evaluar la viabilidad económica y ambiental de la producción de gasolina en México, incorporando las externalidades en el balance de los costos asociados al proceso de refinación.

La Reforma Energética a través de las Leyes de Transición Energética y de Cambio Climático, que entraron en vigor en el 2015, tienen por objeto el incremento gradual de la participación de las energías limpias en la industria energética con el propósito de cumplir las metas establecidas en materia de reducción de emisiones de GEI y de conservación de los recursos no renovables, objetivos que serán difíciles de alcanzar sin alternativas energéticas eficientes que realmente cumplan con los requerimientos necesarios para sustituir el uso de los combustibles fósiles.

En este sentido la energía eléctrica puede sustituir a la gasolina en el uso automotriz en autos que funcionan con electricidad de manera eficiente, lo cual se perfila como la alternativa de energía primaria económica y ambientalmente viable (siempre y cuando se genere con fuentes limpia). Para ello, a continuación se realizará un ACB de la gasolina que permita evaluar la viabilidad económica y ambiental de éste combustible y compararlo con las energías renovables que se analizan en el presente trabajo de investigación.

### **Costo de producción de la gasolina**

De acuerdo a la información proporcionada por el estudio de rentabilidad de PEMEX (2009), en el cual toma dos indicadores base, el valor de la inversión total es de 9,123 millones de dólares para la construcción y el funcionamiento de una refinería en México con una capacidad de 300 mil barriles por día (mbd) de productos refinados (PEMEX, 2009). Estos datos se pueden apreciar en las tablas 6.25 y 6.26.

Tabla 6.25 Categorías de costos para la construcción y funcionamiento de una refinería en México

Indicadores	Millones de USD\$
Inversión en refinería (Millones de USD\$)	8,264
Inversión en infraestructura de logística (Millones de USD\$)	852
<b>Inversión total</b>	<b>9,123</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX, 2009

Tabla 6.26 Inversión en refinación y producción de gasolina en México

Indicadores y Costos	
Inversión total en refinería	9,123 (Millones de USD\$)
Producción de gasolina Magna y Premium	300 (mbd)

Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX, 2009; 2014

Además del valor de la inversión necesaria para generar infraestructura de refinación, es necesario conocer el costo de producción de la gasolina.

De acuerdo a la información solicitada vía Plataforma Nacional de Transparencia, PEMEX reporta un costo de producción promedio de gasolina en los años 2010 al 2015 de 9.39 pesos/litro, equivalente a 0.51 dólares/litro, equivalente a 82.4 dólares/barril. Estos valores se pueden observar en la tabla 6.27

Tabla 6.27 Costo de producción de la gasolina en México 2010-2015

	Año						Promedio total
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	
<b>Promedio costo de producción (pesos/litro)</b>	7.51	9.95	10.81	10.46	10.07	7.55	9.39

Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX, 2009

Este promedio total será utilizado para realizar el ACB de la presente investigación y se tomarán como válidos estos valores al igual que las categorías de costos para la construcción y funcionamiento de una refinería en México obtenidos de PEMEX expresados en la tabla 6.25, así como la capacidad de producción de barriles de gasolina por día, ya que provienen de fuentes oficiales y por lo tanto son confiables.

### **Valor de las externalidades de la producción de gasolina**

A partir de los resultados de los modelos de dispersión realizados por la CEPAL en su documento *Evaluación económica de las externalidades*, siguiendo la metodología ExternE (vías de impacto), se calculó el daño físico en cada uno de los receptores (casos por año) causado por las externalidades de la gasolina.

Para la evaluación de los costos externos en la salud se utilizó en casos de morbilidad la suma de los costos directos de la enfermedad, la pérdida de productividad y la voluntad a pagar; y en los casos de mortalidad, el valor de la contaminación atmosférica en dos refinerías específicas, las de las ciudades de Tula, Hidalgo y Salamanca Guanajuato (CEPAL, 2006). Sin embargo en el presente trabajo se utilizarán únicamente los datos de la refinería de Tula, Hidalgo para realizar el ACB por considerarse la más representativa del Sistema Nacional de Refinerías en el país debido a su capacidad instalada y la porción del mercado que controlan (PEMEX, 2009).

Específicamente para el caso de la gasolina existen dos tipos de externalidades negativas a considerar: 1) las externalidades por construcción de infraestructura y 2) las externalidades de la refinación. El valor de las externalidades ambientales de las instalaciones por contaminante aparece en la tabla 6.28.

Tabla 6.28 Valor de las externalidades por construcción de infraestructura de refinación en México

Contaminantes refinería Tula (300 bpd)				
PM10 millones de dólares/año	SO <sub>2</sub> y otros sulfatos Millones de dólares/año	Nitratos Millones de dólares/año	Total Costos externos millones de dólares/año	Costos externos (Dólares/barril)
0.78	7.56	0.34	8.68	0.07

Fuente: elaboración propia con base en los resultados de la CEPAL-modelo SEIA

Como se puede apreciar en la tabla 6.28, el contaminante de mayor impacto es el SO<sub>2</sub>, su aporte como contaminante primario y secundario en forma de sulfatos constituye 87% de los costos externos. En segundo lugar se encuentran las partículas finas (PM10), que aportan 9%. Finalmente, los nitratos tuvieron la menor contribución ya que se trata de un contaminante precursor de inferior toxicidad.

El valor de las externalidades ambientales para la refinería se calcularon en 8.68 millones de dólares por año, ésta cifra se debe dividir entre la capacidad de producción por año para la refinería de referencia (Tula) la cual es de 300 mbd, y así obtener el valor de las externalidades por barril de gasolina. El resultado es de 0.07 dólares/barril y se observa en la tabla 6.28.

Ahora bien, los impactos de la refinación de petróleo son fundamentales como parte del análisis, de tal manera que se deben sumar las externalidades de la refinación a las externalidades de la infraestructura y así obtener el valor total de éstas.

Sobre el mismo proyecto referido en Tula, la CEPAL (2006) evaluó los costos externos por el proceso de refinación, y determinó que las sustancias contaminantes son: CO<sub>2</sub>, partículas, hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de azufre y de nitrógeno. Por lo que establece que el valor anual de este proceso es de 4.18 millones de dólares, cantidad que al dividirla entre la producción de barriles por día

para el proyecto de referencia, se obtiene un valor de las externalidades por refinación de 0.03 dólares/barril. Lo anterior se muestra en la tabla 6.29.

Tabla 6.29 Valor de las externalidades de la refinación del petróleo en México

Capacidad de refinación (mbd)	Valor de las externalidades por construcción de infraestructura (dólares/barril)	Valor de las externalidades de la refinación (dólares/barril)	Valor total de las externalidades por refinación (dólares/barril)
300	0.07	0.03	0.1

Fuente: elaboración propia con base en los resultados de la CEPAL-modelo SEIA

Como se puede observar en la tabla 6.29 la suma de las externalidades del proceso de refinación y de la construcción de infraestructura es de 0.1 dólares/barril, éste valor será utilizado más adelante al efectuar el ACB.

## 6.14. Análisis Costo-Beneficio

### Costo Neto de Producción de las gasolinas fósiles

Una vez cuantificado el valor de las externalidades en la producción de la gasolina y la construcción de una refinería, se realizará un ACB para calcular el Costo Neto de Producción (CNP) de la gasolina fósil en México integrando las externalidades al análisis, para lo cual se desarrollará la ecuación (1) que se muestra a continuación.

$$CNP = \sum_{c=i}^C C_i - \sum_{b=i}^B B_i$$

Ecuación (1)

Donde:

CNP= Costo Neto de Producción

$C_i$  = Valor de los costos de producción promedio

$B_i$  = Valor de los beneficios o ingresos

Sustituyendo los valores en la ecuación 1 el resultado es el siguiente:

$$CNP = 82.4 + 0.1 = 82.5 \text{ dólares/barril}$$

En la tabla 6.30, que se muestra a continuación, se aprecian los resultados obtenidos en la ecuación 1.

Tabla 6.30 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto Producción de las gasolinas fósiles en México

Conceptos	Costos y beneficios monetarios (dólares/barril)
Costo de producción promedio	82.4
Valor de externalidades negativas	0.1
Valor de externalidades positivas	0
<b>Costo Neto de Producción</b>	<b>82.5</b>

Fuente: elaboración propia con base en los resultados de la CEPAL-modelo SEIA

En la tabla 6.30 se observa que el CNP (82.5 USD\$/barril) aumentó muy poco al sumar las externalidades negativas al análisis ya que representan únicamente el 0.12% del CNP, y aunque inicialmente el valor anual por el total de las externalidades pudiera parecer alto, este se va diluyendo por la cantidad de barriles producidos en un año.

Por otra parte, no existen externalidades positivas, pues éstas se general al producir energía de manera limpia en términos de CO2 evitado, por lo que no habrá beneficios adicionales por este concepto.

### Evaluación de la viabilidad económica de la producción de gasolinas fósiles

Una vez obtenido el CNP de las gasolinas fósiles por medio del cual se integraron las externalidades a los costos para conocer el valor real tomando en cuenta el aspecto ambiental, se desarrollará la ecuación 2 y se realizarán los cálculos necesarios para evaluar la viabilidad económica del proceso de producción de las gasolinas fósiles.

$$FC = \sum_{j=1}^J Ep_j + \sum_{z=1}^Z Iz - \sum_{b=1}^B Enb - \sum_{n=1}^N C_n$$

Ecuación (2)

Dónde:

$FC$ = Flujo de caja

$Ep_j$ = Valor de las externalidades positivas de  $j$

$Enb$ = Valor de las externalidades negativas de  $b$

$Iz$ = Valor de los ingresos de  $z$  por venta de gasolina

$C_i$ = Valor de los costos de producción  $i$

} Términos ambientales

} Términos financieros

Desarrollando la ecuación 2 con los valores conocidos y agregando el valor del precio de venta de gasolina magna en México 2016, el cual es de 16.40 MX\$/lt; equivalente a 0.90 USD\$/Lt; equivalente a 143.1 USD\$/Barril se obtiene el siguiente resultado:

$$FC = 143.1 - 0.1 - 82.4 = 60.6 \text{ USD}/\text{Barril}$$

A continuación en la tabla 6.31, se muestran los resultados obtenidos en la ecuación 2.

Tabla 6.31 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica de la producción de gasolina fósil en México

Conceptos	Costos y beneficios monetarios (dólares/barril)
<b>Precio de venta del barril de gasolina en México</b>	143.1
Costo de producción promedio	-82.4
<b>Valor de externalidades negativas</b>	-0.1
Valor de externalidades positivas	<b>0</b>
<b>Flujo de Caja (FC)</b>	<b>60.6</b>

Fuente: elaboración propia con datos de 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; PEMEX, 2009; 2013

De acuerdo al cálculo anterior, la producción de gasolina tiene un FC positivo de 60.6 USD\$/barril, es decir existe rentabilidad en la venta de gasolina puesto que su costo de producción es bajo y el valor de las externalidades no es significativo. Por lo tanto, como el  $FC > 0$ , entonces estamos en presencia de un proyecto económicamente viable.

Es necesario señalar que a diferencia de las energías renovables analizadas en el presente trabajo (eólica, solar, geotérmica e hidráulica) para las cuales el análisis de viabilidad económica resultó negativo, la producción de gasolina en México es una actividad que de acuerdo al ACB realizado, es muy factible en términos económicos, aun cuando no se presentan beneficios monetarios por externalidades positivas.

En cuanto a los términos ambientales, las externalidades negativas reflejadas, si bien representan un porcentaje menor, no quiere decir que no afectan a la salud y al medio ambiente, al contrario, si lo hacen aunque no sea perceptible, sin embargo el mayor problema no está en la producción de la gasolina, está en su consumo y en la gran cantidad de GEI que se emite a la atmósfera.

Por lo que respecta al análisis de viabilidad ambiental y al no contar con externalidades positivas, se cumple la desigualdad  $E_{pj} < E_{nb}$  lo cual significa que estamos en presencia de un proyecto ambientalmente inviable.

### **6.15. Análisis comparativo de la producción de electricidad con fuentes renovables y las gasolinas fósiles**

Una vez realizados el ACB para las energías renovables y las gasolinas fósiles en México, éstas se analizarán en conjunto desde el punto de vista comparativo para tener una perspectiva más amplia y conocer cuál es la alternativa más viable desde el punto de vista económico y ambiental para el uso automotriz.

Para este propósito, se hace necesario señalar que el mercado existen automóviles cuyo funcionamiento depende de diferentes combustibles. En este sentido se pueden encontrar automóviles cuyo combustible es el gas (natural y L.P), también están los vehículos de combustible flexible que son impulsados con un motor de combustión interna convencional de cuatro tiempos que tiene la capacidad de utilizar dos combustibles mezclados en un solo tanque de almacenamiento, generalmente gasolina y etanol o metanol.

Otra tecnología se encuentra en los vehículos eléctricos híbridos, que son impulsados por energía eléctrica proveniente de baterías y, alternativamente, de un motor de combustión interna que utiliza gasolina o diesel. Otro tipo de automóviles son aquellos que tienen por combustible el hidrógeno diatómico como su fuente primaria de energía para propulsarse, en la combustión el hidrógeno se quema en un motor de explosión, de la misma forma que la gasolina, posteriormente el hidrógeno se convierte en electricidad a través de pilas de combustible que mueven motores eléctricos.

También en el mercado se encuentran los vehículos que son impulsados por uno o más motores eléctricos y que sin apoyo de un motor de combustión interna dependen únicamente de los acumuladores químicos (batería de ion de litio), cada vez desarrollados con mayor densidad de carga y longevidad, que permiten mover motores más potentes y aumentar la autonomía hasta los 200 km.

Es decir, un automóvil puede funcionar con varios tipos de combustible, por lo tanto, puede ser abastecido con alguna de las dos energías analizadas en el presente trabajo de investigación (electricidad o gasolinas fósiles), presentando un funcionamiento eficiente en ambos casos. Ahora bien, para un recorrido de 100 Km, de acuerdo a Alarcón (2010) el promedio de electricidad utilizada es de 15KWh en un auto eléctrico, mientras que para un recorrido de 100 Km en un auto cuyo combustible es la gasolina son necesarios 6.94 litros.

El problema de investigación expuesto al inicio de la investigación es el elevado gasto en importaciones de gasolina que el gobierno en México realiza (25 mil millones de dólares anuales aproximadamente), además del agotamiento de los recursos no renovables del subsuelo y las emisiones de GEI emitidas al producir y utilizar gasolina. Por ello es importante presentar alternativas energéticas viables y factibles que puedan reducir la producción y el consumo exhaustivo de este petrolífero.

A continuación se muestra en la tabla 6.32 el Costo Neto de Producción de las energías renovables y de las gasolinas fósiles en México. De acuerdo al ACB realizado, en ella se podrá observar de manera comparativa e incluyendo los costos externos, los valores de cada una de las energías analizadas.

Tabla 6.32 Costo Neto de Producción de electricidad con fuentes renovables y de las gasolinas fósiles en México

	Energía eólica USD\$/MWh	Energía hidroeléctrica USD\$/MWh	Energía solar USD\$/MWh	Energía geotérmica USD\$/MWh	Gasolina fósil USD\$/barril
<b>Costo Neto de Producción</b>	60.8	72.5	284.6	76.9	82.5

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; PEMEX, 2009; 2013

Se puede observar en la tabla 6.32, que de los cuatro tipo de tecnologías renovables estudiadas, el costo neto de producción de energía eólica es el más bajo con 60.8 USD\$/MWh, seguido por la energía hidroeléctrica con 72.5 USD\$/MWh, en tercer lugar con un costo muy similar se encuentra la energía geotérmica con 76.9

USD\$/MWh, y en último lugar con un costo muy por encima de los tres anteriores está la energía solar con 284.6 USD\$/MWh.

En la misma tabla 6.32 se encuentra el costo neto de producción de la gasolina con 82.5 USD\$/barril, que a simple resulta difícil relacionar o comparar con la generación de energía eléctrica, sin embargo, como ya se había mencionado anteriormente, ambas pueden utilizarse como combustible en vehículos automotores y por lo tanto el análisis comparativo entre ambos tipos de energía tiene lugar.

En el mismo orden de ideas, a continuación se calcularán los costos de producir electricidad y gasolina para un recorrido de 100 kilómetros en un automóvil. El cálculo se realizará con cada una de las fuentes energéticas que se estudian en el presente trabajo, recordando que para un recorrido de 100 Km, el promedio de electricidad utilizada en un auto eléctrico es de 15KWh, mientras que para un recorrido de 100 Km en un auto a gasolina se necesitan 6.94 litros. Los resultados se muestran en la tabla 6.33.

Tabla 6.33 Comparativo de costos de producción de energía para un recorrido automotriz de 100 Kilómetros

	<b>Energía eólica USD\$</b>	<b>Energía hidráulica USD\$</b>	<b>Energía solar USD\$</b>	<b>Energía geotérmica USD\$</b>	<b>Gasolina fósil USD\$</b>
<b>Costo de producción de 15 kWh</b>	0.91	1.08	4.28	1.15	
<b>Costo de producción de 6.94 litros de gasolina</b>					3.5

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; PEMEX, 2009; 2013

En la tabla 6.33 se puede observar que la energía eólica tiene el costo más bajo de producción de energía para brindar 100 kilómetros de autonomía a un automóvil (0.91 USD\$/15KWh). Esta energía además de ser la de menor costo de producción es la que más crecimiento presentó en los últimos años, y es justamente ese factor

de crecimiento el que ha incidido en la disminución de sus costos de producción (SENER, 2012).

Las energías hidráulica y geotérmica respectivamente, tienen costos de producción muy similares (1.08 USD\$/15KWh y 1.15 USD\$/15KWh) para brindar autonomía a un automóvil durante 100 kilómetros, sin embargo no se debe olvidar, que la energía geotérmica resulto ambientalmente inviable en el análisis.

Finalmente la energía solar presenta un alto costo de generación eléctrica para dotar de autonomía por 100 kilómetros a un automóvil (4.28 USD\$/15KWh). Por ahora el costo de sus componentes es muy alto y eso encarece sus costos de producción.

En relación a la gasolina, ésta es la segunda más cara en cuanto a sus costos de producción para brindar autonomía por 100 kilómetros a un automóvil (3.5 USD\$/15KWh). Además, al no generar externalidades positivas se califica como ambientalmente inviable sin olvidar los impactos que se generan en su consumo y que se abordarán en futuras investigaciones.

Existe una variable comercial que, sin modificar su Costo Neto de Producción, incide en el costo que tiene la gasolina para el Estado y se debe mencionar. Sólo el 50% de las gasolinas fósiles son producidas en México y el resto se importa, factor que sin duda disminuye la rentabilidad del producto. Según cifras de la SENER (2015), en ese año se importaron en promedio 500 mil barriles por día de gasolina con un valor de 25,000 millones de dólares, lo cual arroja un precio de importación de 136.9 dólares/barril.

Este precio está muy por encima del CNP calculado (82.5 dólares/barril), es decir, importar un barril de gasolina cuesta 66% más, que si se refina en el país. Esta situación es de suma importancia pues es probable que incida en el precio final de la gasolina en los usuarios, sin embargo es una variable que no se puede probar.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICAS PÚBLICAS

En esta investigación se realizó un Análisis Costo-Beneficio (ACB) de la producción de energías renovables y de las gasolinas fósiles en México en el año 2016, integrando la valoración de los llamados factores ambientales externos.

Esta herramienta metodológica permite realizar estudios de viabilidad económica que puedan adoptarse en proyectos de energía que pretendan tomar en cuenta el valor monetario de las externalidades, lo cual permite conocer el costo real de la producción energética.

Los resultados obtenidos muestran, en cuanto a la generación de energía renovable, que los beneficios ambientales máximos están asociados con la generación de energía eléctrica por medio de fuentes limpias y libres de emisiones cuyas centrales no sean motivo de grandes impactos en su construcción o en la de sus componentes. Específicamente de los cuatro tipos de tecnologías analizadas para generar electricidad, la energía eólica, hidráulica y solar mostraron viabilidad ambiental, ya que los beneficios por las emisiones evitadas al producir electricidad son mayores a los costos externos negativos que producen.

En este sentido la energía geotérmica, a pesar de que no genera emisiones contaminantes en la producción de electricidad, en el análisis no resultó ambientalmente viable, debido a los contaminantes emitidos en la construcción de las centrales y a la degradación del suelo por la perforación de pozos. Sin embargo, el presente análisis es de corte transversal y se realiza para un solo año en particular (2016), en estos casos, las externalidades negativas suelen inclinar la balanza porque no existe un periodo prolongado dónde probablemente las externalidades positivas sean mayores, ya que no existen afectaciones al medio ambiente en periodos de vida útil que van de 25 a 30 años para este tipo de centrales (SENER, 2012).

Se concluye que a excepción de la energía solar; la energía eólica, hidráulica y geotérmica tiene menor Costo Neto de Producción que las gasolinas fósiles en México. Además se determina que ninguna de las cuatro energías renovables en estudio tiene viabilidad económica debido al bajo precio de venta que obedece al subsidio gubernamental. Sin embargo es necesario señalar que cualquiera de ellas, por su bajo costo neto de producción, es más competitiva desde el punto de vista económico que la electricidad que se genera actualmente en el país con fuentes fósiles. En cuanto a la gasolina, ésta resultó altamente rentable debido a su bajo costo de producción y su elevado precio de venta.

Por los resultados obtenidos en la presente investigación sobre su menor Costo Neto de Producción; por su mayor viabilidad ambiental (debido a que tiene el valor más bajo de sus externalidades negativas); por su potencial de crecimiento y desarrollo; así como la disminución sostenida en sus costos de producción y de sus componentes debido a su acelerada curva de aprendizaje; se propone a la energía eólica, como la mejor opción para la producción de energía eléctrica con fuentes renovables y como el tipo de energía viable y factible para sustituir el uso de la gasolina en automotores en México en 2016.

Por otra parte, se constató que el Costo Neto de Producción de las gasolinas es mayor al de la energía eólica, hidráulica y geotérmica, por lo que resulta menos competitiva que éstas. Se concluye también que en la producción de gasolinas fósiles no existe viabilidad ambiental, debido a las emisiones y residuos generados durante la construcción de la infraestructura y durante el proceso de refinación para obtener la gasolina. Es necesario señalar que esta actividad además genera emisiones durante la explotación del crudo necesario para la transformación y contribuye al agotamiento de los hidrocarburos no renovables del subsuelo.

Por los resultados obtenidos al realizar el ACB, se acepta la hipótesis general de investigación (*Hi*) únicamente para la energía eólica, hidráulica y geotérmica; mientras que para la energía solar se rechaza.

Al realizar los cálculos para conocer el costo de producción de la electricidad producida con fuentes renovables y la gasolina necesarias para brindar 100 km de autonomía a un vehículo automotriz, se obtuvieron resultados que confirman que las energías renovables son una alternativa económica y ambientalmente viable y factible para sustituir a la gasolina, pues el costo fue mayor para la gasolina que para la energía eólica, hidráulica y geotérmica, no así para la energía solar, la cual tuvo el costo de producción más alto.

### **Propuesta de política pública**

La política energética en México ha tenido un importante impulso a las energías renovables en el 2015 con la reforma energética, la ley general de cambio climático y la ley de transición energética. Sin embargo es necesario proponer algunas medidas sobre situaciones puntuales detectadas en el presente trabajo, que pueden contribuir a solucionar el problema de investigación identificado y que por otro lado puedan ser contempladas por los tomadores de decisiones en México.

Estas propuestas serán presentadas sobre la base teórica de Bardach (1998), llevando a cabo *Los ocho pasos para el análisis de las políticas públicas*, los cuales son: 1) definición del problema; 2) obtención de la información; 3) construcción de alternativas; 4) selección de criterios; 5) proyección de los resultados; 6) confrontación de costos y beneficios; 7) tomar decisiones de implementación y 8) evaluar y difundir los resultados

De acuerdo a los tópicos investigados en esta tesis se propone:

1) Asegurar el abastecimiento energético local por tipo de combustible (con sustentabilidad)

El problema que se tiene actualmente en México en cuanto a la importación de más del 50% de las gasolinas se debe a que no se llevaron a cabo las acciones necesarias de inversión y desarrollo para asegurar el abastecimiento nacional y la autonomía energética. De haberse realizado estas acciones no se dependería del suministro externo y de los elevados costos de importación.

Para asegurar el abastecimiento de gasolina, se propone incrementar la infraestructura y la capacidad de refinación con un sistema intensivo de recuperación de gases, fluidos y sólidos que disminuya al máximo el impacto ambiental. Esta acción sería temporal y simultánea a incentivar el cambio en los equipos de consumo a nivel nacional (flota vehicular pública y privada) y al crecimiento de la generación de electricidad con fuentes limpias, viables económica y ambientalmente.

## 2) Cambio en los equipos de consumo a nivel nacional

Para dar un cambio paulatino al modelo energético actual se debe dar un giro a la demanda de energía. Las políticas energéticas están en función de la demanda de energía y de estos dos elementos se desprende la oferta de energía. Si se da un cambio en los equipos de consumo nacional (automóviles), de tal manera que la flota vehicular tenga como combustible la electricidad, la demanda de ésta se incrementará a la vez que disminuirá la demanda de gasolina, dejando atrás periódicamente el modelo de extracción de combustibles fósiles y el agotamiento de los hidrocarburos del subsuelo.

## 3) Utilizar energías renovables para generar electricidad

Es fundamental generar una oferta de energía con fuentes limpias. Si se pretende cambiar el modelo de demanda de energía, es importante que ésta sea energía libre de emisiones y alejada de la extracción. Una vez promovido el cambio en los equipos de consumo (vehículos), es trascendental cambiar el modelo predominante de generación eléctrica. Hoy en día la mayor parte de la electricidad es producida con base en la combustión de energéticos fósiles. Por lo que se propone invertir la matriz eléctrica de manera periódica para que la mayor parte de la electricidad sea producida por fuentes limpias, así la oferta de energía para los nuevos equipos de consumo (automóviles) promovidos por políticas gubernamentales, estarían contribuyendo a la no generación de gases en la producción y el consumo de combustible.

Si bien cierta cantidad de electricidad en México es generada con energías renovables, aún resulta insuficiente. Como ejemplo de factibilidad de éste tipo de

políticas energéticas se puede citar a costa rica, único caso en América Latina que genera el 100% de su electricidad con fuentes limpias tales como la hidroelectricidad y en menor medida la geotermia y eólica.

Este logro se debe el esfuerzo hecho por las autoridades en inversión en obtener el máximo rendimiento de sus recursos naturales para evitar tener que importar hidrocarburos así como a la integración en el Programa de Energías Renovables y Eficiencia Energética de Centroamérica (Minae, 2016).

#### 4) Política de información y educación intensiva

Otra de las propuestas para lograr modificar el modelo energético en México, es la implementación de un programa de información y educación. Este programa deberá tener dos ejes: a) de difusión masiva y permanente y b) deberá ser dado a conocer en infantes, de manera ininterrumpida, desde el nivel de educación básica hasta la educación media superior.

Tendrá como objetivos la concientización de las ventajas económicas y ambientales de las energías limpias, incentivar valores y empatía con el ecosistema y el medio ambiente, conocimiento del tema entre la población, promover prácticas de consumo energético que alejen a los consumidores de los energéticos fósiles y fomenten el uso de las energías renovables, así como actividades educativas como talleres y foros desde los niveles académicos inferiores.

Las cuatro propuestas anteriores se podrán lograr en la medida que la inversión pública y privada y la voluntad de los tomadores de decisiones estén orientadas hacia el mismo objetivo.

Más allá de las recomendaciones personales sobre políticas energéticas, que a la luz de la investigación experta y exhaustiva puedan parecer limitadas, es necesario para cualquier país de América Latina atender las recomendaciones de organismos internacionales como la Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL) y la Agencia Internacional de Energía (AIE), dedicadas a desarrollar una serie de recomendaciones de políticas de eficiencia energética que han demostrado ser una forma eficaz de aumentar la concientización de los tomadores de decisiones

regionales sobre la importancia de la eficiencia energética y la necesidad de contar con políticas públicas que apoyen las inversiones y actividades en eficiencia energética (CEPAL, 2014).

Estas recomendaciones se han hecho para identificar las oportunidades, barreras y necesidades de políticas a nivel regional con expertos para América Latina y el Caribe, además están aprobadas por los representantes de los 21 países latinoamericanos que participaron en el “V Diálogo Político Regional sobre Eficiencia Energética” (CEPAL, 2014).

### **Políticas Transversales**

1.- Designar instituciones líderes para la planificación, coordinación, implementación y monitoreo de políticas y programas de eficiencia energética.

Los gobiernos deberían considerar establecer un marco institucional sólido para liderar la planificación, coordinación, implementación y monitoreo de políticas y programas de eficiencia energética.

2.- Establecer la recopilación regular de datos e indicadores de eficiencia energética

La recopilación de datos energéticos durante las fases de diseño, implementación y evaluación es una parte esencial de cualquier programa de eficiencia energética. La recopilación y el análisis de datos energéticos pueden proporcionar a los gobiernos información crítica para la toma de decisiones. Los datos recolectados permiten la creación de líneas base e indicadores necesarios para medir el progreso y realizar el monitoreo y la evaluación de iniciativas de eficiencia energética.

3.- Eliminar los subsidios energéticos ineficientes

Los bajos precios de la energía resultantes de subsidios a combustibles fósiles y la electricidad, dan lugar a un mayor consumo energético y reducen la demanda de inversiones en eficiencia energética. A medida que aumenta el consumo de energía, estas subvenciones pueden convertirse en una importante carga financiera para los

gobiernos. Sin embargo, la eliminación de los subsidios en los precios de los combustibles fósiles puede suponer un gran desafío para los gobiernos.

#### 4.- Estimular la inversión en eficiencia energética

Los gobiernos deberían garantizar que existan mecanismos de apoyo para facilitar inversiones en eficiencia energética, tanto del sector privado como del público. Estos mecanismos pueden consistir en: Estimulación de la inversión privada; Creación de capacidades locales; Desarrollo de esquemas financieros adaptados a las necesidades locales; Utilización de fondos públicos para la implementación de proyectos de eficiencia energética, particularmente en Pequeñas y medianas empresas.

#### 5.- Desarrollar campañas de sensibilización e información y programas educativos

La sensibilización y educación sobre eficiencia energética entre los diversos actores relevantes del sector energético y los consumidores finales, es visto como uno de los primeros pasos para el establecimiento de mejores prácticas de eficiencia energética en todos los sectores. Las campañas regulares de comunicación e información en múltiples sectores, así como la inclusión del tema de la eficiencia energética en los programas educativos en escuelas y en la formación de expertos técnicos, pueden asegurar que la eficiencia energética sea una parte esencial de los procesos de toma de decisiones. Es necesario que las agencias de energía y las instituciones de educación colaboren estrechamente para apoyar de forma exitosa las iniciativas de eficiencia energética a largo plazo.

### **Políticas de Transporte**

#### 6.- Mejorar la planificación del sistema y la eficiencia del transporte

Los gobiernos deberían promover el transporte colectivo integrado y hacer posible la diversificación de los sistemas de transporte y las fuentes de combustible, especialmente en grandes zonas urbanas. Los gobiernos también deben eliminar los subsidios a los combustibles fósiles ya que reducen la competitividad de las tecnologías de transporte energéticamente eficientes. Además deben aumentar la

adopción de tecnologías energéticamente eficientes (como la electrificación) que mejoren el desempeño ambiental de los vehículos.

7.- Implementar estándares de eficiencia energética y sistemas de etiquetado energético obligatorios para vehículos

Los estándares y el etiquetado pueden también estimular la innovación tecnológica en combinación con incentivos y esquemas impositivos que influyeran los procesos de toma de decisiones y aceleren la adopción de vehículos eficientes y de bajas emisiones.

8.- Promover componentes automotrices (no relacionados con el motor) de consumo eficiente de combustible mediante estándares y protocolos de pruebas

La eficiencia de componentes de los vehículos tales como neumáticos, sistemas de aire acondicionado y dispositivos aerodinámicos puede desempeñar un papel importante en la mejora general del rendimiento del combustible, especialmente para la región del Caribe, donde la mayoría de los vehículos son importados y de segunda mano.

9.- Mejorar la eficiencia operativa de los vehículos a través de: a) formación y sensibilización; b) mantenimiento e inspecciones; c) instrumentos de verificación a bordo.

La forma de funcionamiento de los vehículos y su mantenimiento afecta su eficiencia general. Por lo tanto, los gobiernos deberían promover y apoyar medidas de eficiencia operativa para vehículos. Estas medidas pueden incluir campañas continuas de información y sensibilización para educar a los conductores sobre el mantenimiento preventivo. Los gobiernos también pueden colaborar para exigir que los fabricantes proporcionen instrumentos de retroalimentación sobre la conducción ecológica a bordo de los vehículos nuevos (CEPAL, 2014).

La adopción de todas o de algunas de las recomendaciones anteriores representa una oportunidad de modificar el modelo energético actual para mejorarlo en todos los sentidos. En México progresivamente se podría caminar por un mejor rumbo en la

medida en que las políticas estén orientadas a mejorar la calidad ambiental, la competitividad y la eficiencia energética. Sin embargo es necesario señalar que para los gobiernos es difícil de implementar todas las recomendaciones de una sola vez, para ello sería recomendable un programa de priorización de las medidas que mayores beneficios puedan tener e incluso priorizarlas iniciando con aquellas que sean más urgentes y no más deseables. El reto energético en México es muy grande y tiene muchas aristas, sin embargo el estudio profundo y constante que brinde alternativas energéticas para lograr la eficiencia, es el paso obligado y permanente que debe mantenerse para el mejoramiento de las condiciones actuales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Internacional de la Energía (2000). *Experience Curves for Energy Technology Policy*.

Aguado, R. y Galla-More, R. (1961). *La refinación de petróleos en Centroamérica*. Comité de Cooperación Económica del Istmo Centroamericano de la CEPAL.

Aguilar, L. (1993). *Antologías de Política Pública*. México: Porrúa.

Aguilar, L. (2000a). *El estudio de las políticas públicas*. Colección Antologías de Política Pública. México: Miguel Ángel Porrúa.

Aguilar, L. (2000b). *La hechura de las políticas públicas*. Colección Antologías de Política Pública. México: Miguel Ángel Porrúa.

Aguilar, L. (2000c). *La implementación de las políticas*. Colección Antologías de Política Pública. México: Miguel Ángel Porrúa.

Aguilar, L. (2000d). *Problemas públicos y agenda de gobierno*. Colección Antologías de Política Pública. México, Miguel Ángel Porrúa.

ALLPE (2016). Ingeniería y Medio Ambiente. Madrid, España. Recuperado de: [http://www.allpe.com/seccion\\_detalle.php?idseccion=279](http://www.allpe.com/seccion_detalle.php?idseccion=279)

Altomonte H., Coviello M., Lutz W. (2003). *Eficiencia energética y energías renovables en América Latina: restricciones y perspectivas*. – Serie Recursos Naturales e Infraestructura – en edición.

Anderson, J. (1990). *Public policymaking*. Boston: Houghton Mifflin.

Aranda, A. (2009). *Análisis de viabilidad económico-financiero de un proyecto de energías renovables*. España: Ed. Prensas Universitarias de Zaragoza

Atlas Mexicano de almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>; recuperado de: <http://co2.energia.gob.mx/res/index.html>

Aversano, N.; Temperini, T. (2006). *El Calentamiento Global: Bonos de Carbono, una alternativa*. Guatemala: DG.

Azqueta, D. y Delacamara, G. (2008). *El costo ecológico de la extracción de petróleo: una simulación*. Revista de la CEPAL número 94, Santiago de Chile.

Baena, M. (1999). *Curso de ciencia de la administración*. Vol. I. Madrid: Tecnos.

BANCO MUNDIAL. (1980). *La Energía en los Países en Desarrollo*. Washington DC: Banco Mundial.

Banco Interamericano de Desarrollo (2013). *Evaluación Financiera y Económica del Proyecto Electrificación Rural con Energía Renovable*. Cochabamba, Bolivia.

Bañón, R. y Castillo, E. (1997). *El análisis de las políticas públicas, La nueva administración pública*. Madrid: Alianza editorial.

Blanchard, O. Amighini, A. y Giavazzi, F. (2007). *Macroeconomía*. España: Pearson.

Brewer, G. y De León, P. (1983). *The foundation of policy analysis*. Homewood: The Dorsey Press.

Brisson, I. y Powell J. (1995). *Dump or Burn? The Assessment of Social Costs and Benefits of Waste Disposal*. CSERGE. Mimeo.

Buendía, A. (2014), *Caracterización y evaluación económica para la inversión en plantas menores a 20 MW conectadas al sistema interconectado nacional (sin) de Colombia a partir de fuentes de energías renovables eólica y solar*. Trabajo final para optar el título de Magíster en Ingeniería Sistemas Energéticos. Universidad nacional de Colombia. Facultad de minas.

Bunge, M. (2004). *La investigación científica*. México, D.F.: Siglo XX.

Calva, J. (2007). *Política energética 2007 Agenda para el desarrollo*. México: PORRUA

Caminal, M. (1997). *Manual de ciencia política*. Madrid: Tecnos.

Campodónico, H. (2001). *Consecuencias del Shock petrolero en el mercado internacional a fines de los noventa*. Serie recursos Naturales e Infraestructura # 24, CEPAL.

Campos, G. (2012). *¿Cuál es el costo de producción de un litro de gasolina en México?*. México: Texto libre.

Canto, M. y O. Castro. (2002). *Introducción a las políticas públicas: Participación Ciudadana y Políticas Públicas en el Municipio*. México: MCD.

Cardozo, M. (2006). *La evaluación de políticas y programas públicos. El caso de los programas de desarrollo social en México*. México: M. A. Porrúa.

CEPAL, NU. (1996). "Sostenibilidad energética en América Latina y el Caribe: El aporte de las fuentes renovables", *División de Recursos Naturales e Infraestructura CEPAL*, Santiago de Chile.

CEPAL. (1958). *Manual de Proyectos de Desarrollo Energético*. México DF: Cepal/Aat.

Comisión Económica para América Latina y el Caribe, la Organización Latinoamericana de Energía y la Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (CEPAL, OLADE, GTZ) (2003). *Energía y desarrollo sustentable en América Latina: guía para la formulación de políticas energéticas*. Santiago de Chile.

Craighill, A y J. Powell (1996). *Lifecycle assessment and economic evaluation of recycling: a case study*. Resources, Conservation and Recycling.

Cordero, S. et al (2006). *Análisis de costo beneficio de cuatro proyectos hidroeléctricos en la cuenca Changuinola-Teribe*. Panamá.

De León, P. (1997). *Una revisión del proceso de las políticas: De Lawsell a Sabatier*. Revista de Gestión y Política Pública. 1. México: CIDE.

DOF (2012). *Ley General de Cambio Climático*. Estados Unidos Mexicanos

DOF (2015). *Ley de Transición Energética*. Estados Unidos Mexicanos

DOF (2015). *Reforma Energética*. Estados Unidos Mexicanos

Escobari, J.; Caro, V.; Malky, A. (2004). Documento de Trabajo: *Problemática Ambiental en Bolivia*. La Paz.

European Commission (EC), 1997. *Cost-Benefit Analysis of the Different Municipal Solid Waste Management Systems: Objectives and Instruments for the Year 2000*.

Fernández, G. (2010). *Determinación de los precios de las gasolinas y el diesel en México*. Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. Documento de Trabajo núm. 97.

Fernández, J. y Delgado, G. (2007). *Engaños contables de los monopolios de la energía: costos, impactos y paradigmas del sector*. Eumed.

Ferrín, R. (2004). *Economía Y Medio Ambiente*. Washington: published annually.

Field, B. (1995). *Economía Ambiental: Una introducción*. Colombia: McGraw Hill.

Gaioli, F (2016). *Costo-beneficio: la conveniencia de entrar al mercado de carbono*. Código R. Recuperado de: <http://www.codigor.com.ar/index.html>

Galetovic, A., J. C. Olmedo y H. Soto (2002): *¿Qué tan Probable es una Crisis Eléctrica?*. Estudios Públicos.

García, K. (2015). Repuntan compras externas de gasolina en el 2014. *El economista*. Recuperado de <http://eleconomista.com.mx/industrias/2015/02/02/repuntan-compras-externas-gasolina-2014>

Gayoso, J. y Schlegel, A. (2001). *Guía para la formulación de proyectos forestales de carbono*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Proyecto FONDEF *Captura de Carbono*.

Gobierno del estado de Coahuila (1997). *Programa Coahuila Limpio*. Serie Educación Ambiental, México.

González, A. (1999). *Costos y beneficios ambientales del reciclaje en México, Una aproximación monetaria*. Facultad de Economía, UNAM. México.

González, G. (2008). *Bonos de Carbono: Una oportunidad de financiamiento para las empresas mexicanas*. México.

González, M. (2004). *Fundamentos de políticas públicas*. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua.

Hecló, H. y Wildavsky, A. (1979). *The Private Government of Public Money*. Macmillan, London.

Hernández, J., Rendón, C., Pineda, C., (2008). *Comparación termoeconómica de un sistema de cogeneración aplicando refrigeración por absorción*. México: IMIQ.

Hernández, R.; Fernandez, C.; Baptista, P. (1998). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill.

IEA (2006). Electricityfor México. Cit. En Ídem. Recuperado de: <https://www.iea.org/countries/non-membercountries/mexico/>

INARE (1996). Documento entregado al INE. Dirección General de Residuos. Materiales y Actividades Riesgosas.

INEGI (2005). Recuperado de: <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/petroleo/cuantoahay.aspx?tema=E>

INEEC (2010). *Cambio Climático en México*. Recuperado de: <http://cambioclimatico.inecc.gob.mx/preguntasfrecuentes/protocolodekiotoymdosdebonos.html>

Instituto Argentino de la Energía – IAE (2006). *Informe sobre la situación actual y futura del petróleo: Proyecciones 2006*, Departamento técnico, marzo.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2001: Synthesis Report, Summary for Policymakers*. This Summary, approved in detail at IPCC Plenary XVIII (Wembley, United Kingdom, 24-29 September) 34p.

Kalecki, M. (1954). *Teoría da Dinámica Económica*. Sao Paulo.: Abril Cultural.

Kanninen, M. y Mery, G. (2002). Proyectos de mitigación. *Actividades y energéticas que mitigan y actividades elegibles en el MDL*. Curso Internacional de Cambio Climático en los sectores forestales y energéticos. Costa Rica.

Kerlynger, F. (1983). Investigación del comportamiento. Técnicas y metodología. México: Ed. Interamericana.

Keynes, J. (1965). *Teoría general de la ocupación, el interés y el dinero*. México: Fondo de Cultura Económica.

Lahera, E. (2004). *Introducción a las políticas públicas*. Chile: FCE.

Laswell, H. (2000). *La orientación hacia las políticas*. México: Miguel Ángel Porrúa.

Lecocq, F.; Capoor, K.; PCF plus Research, Banco Mundial. 2003. Situación y tendencias del mercado de carbono. Washington D.C. 33p.

Lindblom, C. (1979). *Usable knowledge: Social science and social problem solving*. Connecticut: Yale University Press.

Lindblom, C. (1991). *El proceso de elaboración de políticas públicas*. Madrid, INAP.

Lobos, G.; Vallejos, O.; Caroca, C.; Marchant, C. (2005). *El mercado de los bonos de carbono (bonos verdes): una revisión*. Revista Interamericana de Ambiente y Turismo. Volumen 1, número 1.

Majone, G. (1989). *Evidencia, argumentación y persuasión en la formulación de políticas*. México, D. F.: Colegio Nacional de Ciencias Políticas y Administración Pública, A. C. y Fondo de Cultura Económica.

Majone, G. (2000). *Los usos del análisis de políticas*. México. Miguel Ángel Porrúa.

Martínez, A. y Schlupmann, K. (1980). *La ecología y la Economía*. México: Fondo de cultura económica.

Martínez, R. (1980). Diccionario Enciclopédico de economía, *Planeta S.A.*, Barcelona.

Mead, L. (1995). *Public policy: Vision, potencial, limits*. Policy Currents. New York: Department of Politics

Meléndez, M. (2007). *Diversas formas de mirar los efectos de la industria petrolera*. México: ITGE.

Menéndez, E. (2007). *Energías renovables, sustentabilidad y creación de empleo: una economía impulsada por el sol*. Madrid: Catarata.

Merino, M. (2013). *Políticas públicas: ensayo sobre la intervención del Estado en la solución de problemas públicos*. México: CIDE

Ministerio de Ciencia y Tecnología; Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía de España; Asociación de Productores de Energías Renovables. (n.d.). Impactos ambientales de la producción de electricidad: Estudio comparativo de ocho tecnologías de generación eléctrica.

Molinos S., Hernández S., Sala G. (2012). Estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional. Anales de Geografía. Murcia, España.

Moreno, J.; Mocarquer, S. y Rudnick, H. (2010). *Generación Eólica en Chile: Análisis del Entorno y Perspectivas de Desarrollo*. Santiago, Chile.

Navarro, C. y Torres H. (2007). *Conceptos y principios fundamentales de epistemología y de metodología*, México, D.F.: Grupo editorial patria.

Nordhaus, W. (1974). Resources as a Constraint on Growth. The American Economic Review.

Nordhaus, W. (1977). Economic growth and climate: The Carbon Dioxide Problem. The American Economic Review.

Nordhaus, W. (2008): *A Question of Balance. Weighing the Options on Global Warming Policies*. New Haven: Yale University Press.

OCDE (1992). *The Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data*, OECD, Paris, France.

Ojeda, P. (2001). *La ley orgánica de PEMEX y organismos subsidiarios*. Recuperado de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/lopomos/LOPMOS\\_abro.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/abro/lopomos/LOPMOS_abro.pdf)

OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) (2004). *Energía en Cifras*. Sistema de Información Económica-Energética, Quito, Ecuador.

OPEC (2006). *Boletín*. Recuperado de: [http://www.opec.org/opec\\_web/en/press\\_room/852.htm](http://www.opec.org/opec_web/en/press_room/852.htm)

Organización latinoamericana de energía (OLADE) (2003). Sistema de Información Económica-Energética OLADE/CEPAL/GTZ (1997): *Energía y desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe: Enfoques de Políticas Energética*.

Palacios H. y Javier C. (2007). *Prospectiva de la Generación Nucleoeléctrica en México*. ININ.

Parlamento europeo (2016). *Fichas técnicas sobre la unión europea; la política energética: principios generales*. Recuperado de: [http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/es/displayFtu.html?ftuld=FTU\\_5.7.1.html](http://www.europarl.europa.eu/atyourservice/es/displayFtu.html?ftuld=FTU_5.7.1.html)

Parsons, W. (2007). *Políticas públicas: una introducción a la teoría y la práctica del análisis de políticas públicas*. México: FLACSO.

Pavez, M. (2008). *Wind Energy Generation Feasibility on the Northern Interconnected System (SING)*. Tesis de Magíster en Ingeniería. Santiago: Pontificia Universidad Católica de Chile.

PDVSA y sus filiales (Petróleos de Venezuela S.A.) (1999-2000). *Estados Financieros Consolidados 1999 y 2000*.

Pearce, D. (1976). *Economía Ambiental*. México, DF: Fondo de Cultura Económica.

Pedroni, L. (2004). Proyectos de pequeña escala: características, implicaciones, potencialidad. Reunión informativa sobre modalidades y procedimientos para actividades de proyectos de forestación y reforestación en el mecanismo para un desarrollo limpio adoptados en la COP-9. San José, Costa Rica.

Pedroni, L. y Locatelli, B. (2004). *Escala mínima viable*. Reunión consultiva en proyectos de forestación y reforestación de pequeña escala dentro del MDL.

PEMEX (2007). *Estados Financieros Consolidados 2006 y 2005*. México.

PEMEX (2007). *Informe Estadístico de Labores 2006*. México.

PEMEX (Petróleos Mexicanos) (2005). *Anuarios Estadísticos 2002, 2003 y 2004*.

Pérez, B. y Meléndez, M. (2007). *Diversas formas de mirar los efectos de la industria petrolera*. México: ITGE.

Pérez, E. (2001). *Energías renovables, sustentabilidad y creación de empleo: una economía impulsada por el sol*. Madrid.: Catarata.

Pérez, R. (2004). *¿Existe el método científico?*. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.

Petrobras (1997-2006). *Relatorio Anual*. Brasil.

Petrobras (2007). *Puntos Operacionales Destacados: Costo de extracción*. Brasil. Recuperado de: [www.petrobras.com.br/ri/esp/DestaquesOperacionais/ExploracaoProducao/CustosExtracao .asp#](http://www.petrobras.com.br/ri/esp/DestaquesOperacionais/ExploracaoProducao/CustosExtracao.asp#).

Petroecuador (2005). *Informe Estadístico*. Empresa estatal de petróleo del Ecuador.

Pistonesi, H. y Chávez, C. (2003). *Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe: Guía para la Formulación de Políticas Energéticas*. New York: TsinghuaUniversityPress

Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Gobierno de la República Mexicana

Programa Chile Sustentable (2002): *Las Fuentes Renovables de Energía y el Uso Eficiente: Opciones de Políticas Energéticas Sustentables*.

Ramos, Q. (2011). *El mercado de bonos de carbono de california: un traje a la medida para México*. México.

Reservas de hidrocarburos en México. Recuperado de: [http://www.pemex.com/ayuda/preguntas\\_frecuentes/Paginas/reservas\\_hidrocarburos.aspx](http://www.pemex.com/ayuda/preguntas_frecuentes/Paginas/reservas_hidrocarburos.aspx)

Rojas, R. (200). *Guía para realizar investigaciones sociales*. México: Plaza y Valdez

Roldán, J. (2008). *La electricidad. Fuentes de Energía*. Recuperado de 2013 de: [http://books.google.com.co/books?id=1VSdl7o\\_t2kC&printsec=frontcover&dq=fuentes+de+energia+alternativas&hl=es&sa=X&ei=OWs\\_UqTeAoTO9QTtioGgBg&redir\\_esc=y#v=onepage&q=fuentes%20de%20energia%20alternativas&f=false](http://books.google.com.co/books?id=1VSdl7o_t2kC&printsec=frontcover&dq=fuentes+de+energia+alternativas&hl=es&sa=X&ei=OWs_UqTeAoTO9QTtioGgBg&redir_esc=y#v=onepage&q=fuentes%20de%20energia%20alternativas&f=false)

Romm, J. (2008): *The Biggest Source of Mistakes*. Recuperado de en <http://climateprogress.org/2008/03/25/the-biggest-source-of-mistakes-c-vs-co2/>

Saenz, M. (2007). Determinación & Aplicación -del Factor de Emisiones. Recuperado el 09 de 25 de 2013, de [http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/factor\\_emision\\_saenz.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/factor_emision_saenz.pdf).

Salgado, L. y Zambrano, B. (2002). *Políticas de regulación para obtención de edad de una plantación socialmente óptima*. Informe preliminar. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Departamento de Economía, Concepción, Chile.

Sawin, J. (2004): *Policy Lessons for the Advancement & Diffusion of Renewable Energy Technologies Around the World*. Trabajo presentado en la International ConferenceforRenewableEnergies, Bonn.

Schumpeter, J. (1944). *Teoría del desenvolvimiento económico*. Traducción española de Jesús Prados Arrarte. México.: Fondo de Cultura Económica.

Secretaría de Energía (1999). Recuperado de: [www.energia.gob.mx/secc3/sem33.html](http://www.energia.gob.mx/secc3/sem33.html).

Secretaría de Energía (2006). *Prospectiva de petrolíferos 2006-2015*. Dirección general de planeación energética, México.

Secretaría de Energía (SENER). (2009). *Energías Renovables para el desarrollo sustentable en México*. México D.F.: SENER - GTZ.

SEDESOL (1993). *Manejo y reciclaje de los residuos de envases y embalajes*. Serie Monografías No. 4, México.

SENER (2009). *Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México*. México.

SENER (2009). *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables*. México.

SENER (2009). *Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2024*. México

SHCP (Secretaría de Hacienda y Crédito Público) (2004). Información Económica. *Estadísticas Oportunas de Finanzas Públicas y Deuda Pública, series estadísticas*. México.

Sheinbaum, C. (2008). *Propuesta alternativa del Gobierno Legítimo para fortalecer y desarrollar el sector energético sin privatizarlo*. Ponencia presentada el 15 de mayo en los Foros de Debate sobre la Reforma Energética en el Senado de la República.

Somit, A. y Tanenhaus, J. (1967). *The development of American political science*. Boston: Allyn and Bacon.

Stiglitz J. (2000). *Economía del sector público*. NY.: 3era edición, Norton y Co.

Subirats, J. (1989). *Análisis de políticas públicas y eficacia de la administración*. Madrid: INAP.

Thoenig, J. (1997). *Política pública y acción pública*. Revista de Gestión y Política Pública. 1. México: CIDE.

Tol, R. (1995). *The Damage Costs of Climate Change Toward More Comprehensive Calculations*. Environmental and Resource Economics.

Tol, R. (2005): *The Marginal Damage Costs of Carbon Dioxide Emissions: An Assessment of the Uncertainties*. En EnergyPolicy.

Torres, J. (2012). *Beneficios de la energía renovable*. El Nacional. Recuperado de: <http://elnacional.com.do/beneficios-de-laenergia-renovable/>

Turtós, L. (2003). *Revisión de Metodologías Utilizadas para la Estimación de las Externalidades*. Unidad de Energía. México D.F.: CEPAL.

UPME (2004), *Estudio de costos de racionamiento de electricidad y gas natural*. Informe final. Bogotá.

UPME. (2009). Cálculo del factor de emisión de co2 del sistema eléctrico. Recuperado el 21 de 09 de 2013, de [http://www.siame.gov.co/Portals/0/Factor\\_CO2/Calculo%20del%20Factor%20de%20Emision\\_2009.pdf](http://www.siame.gov.co/Portals/0/Factor_CO2/Calculo%20del%20Factor%20de%20Emision_2009.pdf).

Urbina, B. (1995). *Evaluación de proyectos*. México.: Mc. Graw Hill.

Villalobos, F. (1999). *Estimación del costo marginal de los servicios de fijación de carbono en Costa Rica*. Curso Internacional de Cambio Climático en los sectores forestales y energéticos. Costa Rica.

Wildavsky, A. (1980). *The self evaluating organization*. New York: St. Marin's Press.

kerlinger F. y Lee H. (2002). *investigación del comportamiento*. NY: McGrawHill

Agencia Valenciana de Energía (AVEN), (2009). Recuperado de:[http://www.ivace.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5202:programa-de-ayudas-movilidad-sostenible-y-ahorro-y-eficiencia-energetica-en-el-sectortransporte&catid=360:ayudas-2015-ahorro-y-eficiencia-energetica-y-energias-renovables-2&lang=es&Itemid=100456](http://www.ivace.es/index.php?option=com_content&view=article&id=5202:programa-de-ayudas-movilidad-sostenible-y-ahorro-y-eficiencia-energetica-en-el-sectortransporte&catid=360:ayudas-2015-ahorro-y-eficiencia-energetica-y-energias-renovables-2&lang=es&Itemid=100456)

Agromeat, (2008). *Bioenergía*. Recuperado de: <http://www.agromeat.com/category/bioenergía><http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>

Baird, C. (2004). *Química ambiental*. Ed. Reverté S.A.: Barcelona

Besley, J. (2006). *The political economy of good government*. Oxford University Press.

Cámara de Diputados, (LXII Legislatura). *Nota informativa: consumo de gasolina en México*. Recuperado de: [http://www3.diputados.gob.mx/camara/005\\_comunicacion/c\\_monitoreo\\_de\\_medios/01\\_2013/07\\_julio/04\\_04/16\\_40\\_00](http://www3.diputados.gob.mx/camara/005_comunicacion/c_monitoreo_de_medios/01_2013/07_julio/04_04/16_40_00)

CEMDA, (2014). *Regulación de emisiones contaminantes en México*. Recuperado de: <http://www.cemda.org.mx/alerta-organizaciones-sobre-atraso-de-casi-cuatro-anos-en-la-regulacion-de-emisiones-contaminantes-en-mexico/>

Comisión Federal de Electricidad (CFE), (2012). Estadísticas por Entidad Federativa, México D.F.

Davis, A. (2005). *Industrial forestry development*. D.F.: Pacific Economic Bulletin.

DOF, (2012). *Metodología para valorar externalidades asociadas con la generación de electricidad en México*. México

Echarri, L. (1998). *Ciencias de la tierra y del medio ambiente*. Barcelona: Teide S.A.

De Buen, O. (2010), *Residential air-conditioning in northern México: Impacts and Alternatives*, University of California, Berkeley.

Energy Information Administration (U.S, EIA), (2012). Electricity for world. Cit. En ídem.

GEI México (2012). *Factor de emisión eléctrico*. Recuperado de: <http://www.geimexico.org/factor.html>

Greenpeace, (20014). *100% Renovables. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica*. USA.

Hermosillo, J. (1995). *Energía Solar*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. México.

Hernández, J., Rendón, C., Pineda, C., (2007). Comparación termoeconómica de un sistema de cogeneración aplicando refrigeración por absorción. México: IMIQ.

IEA, (2013). World energy outlook. Recuperado de: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013\\_Executive\\_Summary\\_Spanish.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013_Executive_Summary_Spanish.pdf)

IEA, (2015). *Precio Petroleo*. Recupreado de: <http://www.preciopetroleo.net/aie-agencia-internacional-de-la-energia.html>

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), (2010). Indicadores de desarrollo sustentable en México.

Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks, (2008). *Climatechange*. Recuperado de: [https://www3.epa.gov/climatechange/Downloads/ghgemissions/508\\_Complete\\_GHG\\_1990\\_2008.pdf](https://www3.epa.gov/climatechange/Downloads/ghgemissions/508_Complete_GHG_1990_2008.pdf)

IPCC/ONU, (2015). *Cambio climático; informe de síntesis*. Recuperado de: [http://www.ipcc.ch/home\\_languages\\_main\\_spanish.shtml](http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml)

Menéndez, E. (2008). *Energías renovables, sustentabilidad y creación de empleo: una economía impulsada por el sol*. Madrid: Catarata.

OMS, (2011). *observatorio mundial de la salud, puerta de acceso de la OMS a las estadísticas y datos*. Región de las Américas.

OMS, (2015). *Cambio climático y salud*. Recuperado de: <http://www.who.int/media/centre/factsheets/fs266/es/>

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), (2014). *Energytechnology and climatechange*.

PEMEX, (2012). Anexo 02. Recuperado de: [http://www.pemex.com/acerca/informes\\_publicaciones/Documents/informes\\_art70/anexos2012/anexo\\_02\\_aca\\_informe\\_ref.pdf](http://www.pemex.com/acerca/informes_publicaciones/Documents/informes_art70/anexos2012/anexo_02_aca_informe_ref.pdf)

PEMEX, (2014). *Informe Técnico Proyecto F.61157.02.005*. Dirección de Servicios de Ingeniería Gerencia de Servicios en Ingeniería Región CentroNorte. México.

PEMEX, (2015). *Reporte de Resultados de Pemex al 31 de diciembre de 2015*. Recuperado de: [http://www.pemex.com/ri/finanzas/Reporte%20de%20Resultados%20no%20Dictaminados/Reporte\\_4T15.pdf](http://www.pemex.com/ri/finanzas/Reporte%20de%20Resultados%20no%20Dictaminados/Reporte_4T15.pdf)

Procobre, (2008). *Beneficios sociales*. recuperado de: [http://procobre.org/es/beneficios\\_sociales\\_sustentabilidad/](http://procobre.org/es/beneficios_sociales_sustentabilidad/)

Renewables Global Status Report (RGSR), 2013. Recuperado de: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>

RGSR, (2014). *Reporte Global sobre el Estado de las Energías Renovables REN21 2014*. Recuperado de: [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014\\_Release\\_Spanish\\_website.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_Release_Spanish_website.pdf)

Roldán, J. (2008). *La electricidad. Fuentes de Energía*. Recuperado de 2013 de: [http://books.google.com.co/books?id=1VSdl7o\\_t2kC&printsec=frontcover&dq=fuentes+de+energia+alternativas&hl=es&sa=X&ei=OWs\\_UqTeAoTO9QTtioGgBg&redir\\_esc=y#v=onepage&q=fuentes%20de%20energia%20alternativas&f=false](http://books.google.com.co/books?id=1VSdl7o_t2kC&printsec=frontcover&dq=fuentes+de+energia+alternativas&hl=es&sa=X&ei=OWs_UqTeAoTO9QTtioGgBg&redir_esc=y#v=onepage&q=fuentes%20de%20energia%20alternativas&f=false)

Saenz, M. (2007). *Determinación & Aplicación -del Factor de Emisiones*. Recuperado el 09 de 25 de 2013, de [http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/factor\\_emision\\_saenz.pdf](http://www.ambiente.gov.ar/archivos/web/UCC/File/factor_emision_saenz.pdf).

Secretaría de Energía (SENER), (2014). *Energías Renovables para el desarrollo sustentable en México*. México D.F.

SENER, (2010). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*. Recuperado de: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf\\_inegei\\_public\\_2010.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_public_2010.pdf)

SENER, (2012). *Sistema de Información Energética*. Recuperado de: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IE7C02>

SENER, (2014). *Prospectiva de energías renovables 2012-2026*. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva\\_de\\_Energias\\_Renovables\\_2012-2026.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62954/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2012-2026.pdf)

SENER, (2015). *Sistema de Información Energética Petróleos Mexicanos Volumen de importación de petrolíferos*. Recuperado de: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=PMXE2C15>

Solís, M. (2010). Documentos del Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México.

Stiglitz J. (1998). *Economía del sector público*. NY.: 3era edición, Norton y Co.

Urbina, B. (2001). *Evaluación de proyectos*. Ed. McGraw Hill, Mexico.

## ANEXOS

Tabla 6.1 Categorías de costos para la generación de energía eléctrica

1) Costos de capital
2) Costos operativos anuales
3) Producción de energía anual
4) Factor de planta

Fuente: Elaboración propia con datos de Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, 2014)

Tabla 6.2 Costo promedio de producción de la energía eólica en los países de América del Norte

Conceptos	1.94 MW-Turbinas Terrestres (USD\$ / MWh)
Costo de capital de las turbinas	35
Balance del sistema	10
Costos financieros	3
<b>Total Costos de capital</b>	<b>48</b>
Costos operativos (USD \$ / kWh / año)	15
Tasa de descuento 10.3%	1
Producción de energía anual 3,466 (MWh/MW/año)	.5
Factor de planta 39.6%	.5
<b>TOTAL LCOE (USD\$/MWh)</b>	<b>65</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de *National Renewable Energy Laboratory* (NREL, 2014)

Tabla 6.3 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables

País	Hidroeléctrica (USD\$/MWh)	Eólica (USD\$/MWh)	Geotérmica (USD\$/MWh)	Solar (USD\$/MWh)
<b>México</b>	2.9	<b>1.2</b>	11.8	5.0

Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2010)

Tabla 6.4 Precio de mercado de los Certificados de Reducción de Emisiones (CER)

Mes	Precio Máximo CER (USD\$/MWh)	Precio Mínimo CER (USD\$/MWh)	Promedio CER (USD\$/MWh)	Variación %
<b>Octubre</b>	6.14	5.02	5.58	-1.98%
<b>Septiembre</b>	5.37	3.87	4.62	10.96%
<b>Agosto</b>	4.97	4.3	4.635	0.90%
<b>Julio</b>	5.08	4.28	4.68	-0.89%
<b>Junio</b>	6.38	4.34	5.36	-26.72%
<b>Mayo</b>	6.55	5.65	6.1	-1.29%
<b>Abril</b>	7.07	4.91	5.99	18.39%
<b>Marzo</b>	5.24	4.7	4.97	4.19%
<b>Febrero</b>	6.16	4.62	5.39	-17.46%
<b>Enero</b>	8.33	5.61	6.97	-26.78%
			<b>Promedio anual 5.4</b>	Variación anual -1.98%

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2; 2016

Tabla 6.5 Valor promedio anual de los CER para cada tipo de tecnología analizada

Fuente de generación eléctrica	Valor del CER (USD\$/MWh)
Energía eólica	5.4
Energía solar	5.4
Energía hidráulica	5.4
Energía geotérmica	5.4

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2; 2016

Tabla 6.6 Análisis Costo Beneficio: Costo Neto de Producción de la energía eólica en México

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
Costo promedio de generación USD\$/MWh	65
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	1.2
<b>Costos de generación USD\$/MWh</b>	<b>66.2</b>
Valor de externalidades positivas (venta de CER)	-5.4
<b>Costo Neto de Producción USD\$/MWh</b>	<b>60.8</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014

Tabla 6.7 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica y ambiental de la energía eólica

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
Precio de venta de la energía eléctrica en México	48.42
Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)	5.4
<b>Ingresos financieros</b>	<b>53.82</b>
Costo promedio de generación USD\$/MWh	-65
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	-1.2
<b>Costo de Generación USD\$/MWh</b>	<b>-66.2</b>
<b>Flujo de Caja (FC) USD\$/MWh</b>	<b>-12.38</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; CFE, 2016

Tabla 6.8 Costo promedio de generación de la energía solar fotovoltaica en México

Conceptos	Mínimo (USD\$ / MWh)	Máximo (USD\$ / MWh)	Costo Promedio (USD\$ / MWh)
<b>Costos característicos de la energía solar</b>	200	370	285

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2012

Tabla 6.9 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables

País	Hidroeléctrica (USD\$/MWh)	Eólica (USD\$/MWh)	Geotérmica (USD\$/MWh)	Solar (USD\$/MWh)
<b>México</b>	2.9	1.2	11.8	<b>5.0</b>

Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2010)

Tabla 6.10 Beneficio económico por venta de CER por la generación de energía solar

Fuente de generación eléctrica	Valor del CER(USD\$/MWh)
Energía solar	5.4

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2; 2016

Tabla 6.11 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto Producción de la energía solar en México

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
Costo promedio de generación USD\$/MWh	285
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	5
<b>Costos de generación USD\$/MWh</b>	<b>290</b>
Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)	-5.4
<b>Costo Neto de Producción USD\$/MWh</b>	<b>284.6</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014

Tabla 6.12 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica de la energía solar

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
Precio de venta de la energía eléctrica en México	48.42
Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)	5.4
Ingresos financieros	<b>53.82</b>
Costo promedio de generación USD\$/MWh	-285
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	-5
Costo de Generación USD\$/MWh	<b>-290</b>
Flujo de Caja (FC) USD\$/MWh	<b>-236.18</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; CFE, 2016

Tabla 6.13 Categorías de costos para la generación de energía eléctrica

1)	Costos de capital
2)	Costos operativos anuales
3)	Producción de energía anual
4)	Factor de planta

Fuente: Elaboración propia con datos de Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, 2014)

Tabla 6.14 Costo promedio de producción de la energía en centrales hidroeléctricas (en red) en México

Conceptos	Mínimo (USD\$ / MWh)	Máximo (USD\$ / MWh)	Costo Promedio (USD\$ / MWh)
Costos característicos de la energía hidráulica	50	100	75

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2012

Tabla 6.15 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables

País	Hidroeléctrica (USD\$/MWh)	Eólica (USD\$/MWh)	Geotérmica (USD\$/MWh)	Solar (USD\$/MWh)
<b>México</b>	<b>2.9</b>	1.2	11.8	5.0

Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2010)

Tabla 6.16 Beneficio económico por venta de CER en la generación de energía hidroeléctrica

Fuente de generación eléctrica	Valor del CER (USD\$/MWh)
<b>Energía hidráulica</b>	<b>5.4</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2; 2016.

Tabla 6.17 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto de la Generación hidroeléctrica en México

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
<b>Costo promedio de generación USD\$/MWh</b>	75
<b>Valor de externalidades negativas USD\$/MWh</b>	2.9
Costos de generación USD\$/MWh	<b>77.9</b>
<b>Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)</b>	-5.4
Costo Neto de Producción USD\$/MWh	<b>72.5</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014

Tabla 6.18 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica y ambiental de la energía hidráulica

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
Precio de venta de la energía eléctrica en México	48.42
Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)	5.4
Ingresos financieros	<b>53.82</b>
Costo promedio de generación USD\$/MWh	-75
Valor de externalidades negativas USD\$/MWh	-2.9
Costo de Generación USD\$/MWh	<b>-77.9</b>
Flujo de Caja (FC) USD\$/MWh	<b>-24.08</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; CFE, 2016

Tabla 6.19 Categorías de costos para la generación de energía eléctrica

1)	Costos de capital
2)	Costos operativos anuales
3)	Producción de energía anual
4)	Factor de planta

Fuente: Elaboración propia con datos de Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, 2014)

Tabla 6.20 Costo promedio de generación de la energía geotérmica en México

Conceptos	Mínimo (USD\$ / MWh)	Máximo (USD\$ / MWh)	Costo Promedio (USD\$ / MWh)
Costos característicos de la energía solar	57	84	70.5

Fuente: Elaboración propia con datos de SENER, 2012

Tabla 6.21 Valor de las externalidades negativas de la energía eléctrica en México con fuentes renovables

País	Hidroeléctrica (USD\$/MWh)	Eólica (USD\$/MWh)	Geotérmica (USD\$/MWh)	Solar (USD\$/MWh)
<b>México</b>	2.9	1.2	<b>11.8</b>	5.0

Fuente: elaboración propia con datos de la Comisión Reguladora de Energía (CRE, 2010)

Tabla 6.22 Beneficio económico por venta de CER en la generación de energía geotérmica

Fuente de generación eléctrica	CER(USD\$/MWh)
<b>Energía geotérmica</b>	5.4

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2; 2016

Tabla 6.23 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto de Producción de la energía geotérmica en México

Conceptos	Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh
<b>Costo promedio de generación USD\$/MWh</b>	70.5
<b>Valor de externalidades negativas USD\$/MWh</b>	11.8
Costos de generación USD\$/MWh	<b>82.3</b>
<b>Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)</b>	-5.4
Costo Neto de Producción USD\$/MWh	<b>76.9</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014

Tabla 6.24 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica energía hidráulica

<b>Conceptos</b>	<b>Costos y beneficios monetarios USD\$/MWh</b>
<b>Precio de venta de la energía eléctrica en México</b>	48.42
<b>Valor de externalidades positivas (venta de CER USD\$/MWh)</b>	5.4
Ingresos financieros	<b>53.82</b>
<b>Costo promedio de generación USD\$/MWh</b>	-70.5
<b>Valor de externalidades negativas USD\$/MWh</b>	-11.8
<b>Costo de Generación USD\$/MWh</b>	<b>-82.4</b>
<b>Flujo de Caja (FC) USD\$/MWh</b>	<b>-28.48</b>

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; CFE, 2016

Tabla 6.25 Categorías de costos para la construcción y funcionamiento de una refinería en México

<b>Indicadores</b>	<b>Millones de USD\$</b>
Inversión en refinería (Millones de USD\$)	8,264
Inversión en infraestructura de logística (Millones de USD\$)	852
<b>Inversión total</b>	<b>9,123</b>

Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX, 2009

Tabla 6.26 Inversión en refinación y producción de gasolina en México

Indicadores y Costos	
Inversión total en refinería	9,123 (Millones de USD\$)
Producción de gasolina Magna y Premium	300 (mbd)

Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX, 2009; 2014

Tabla 6.27 Costo de producción de la gasolina en México 2010-2015

	Año						
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Promedio total
<b>Promedio costo de producción (pesos/litro)</b>	7.51	9.95	10.81	10.46	10.07	7.55	9.39

Fuente: Elaboración propia con datos de PEMEX, 2009

Tabla 6.28 Valor de las externalidades por construcción de infraestructura de refinación en México

Contaminantes refinería Tula (300 bpd)				
PM10 millones de dólares/año	SO <sub>2</sub> y otros sulfatos Millones de dólares/año	Nitratos Millones de dólares/año	Total Costos externos millones de dólares/año	Costos externos (Dólares/barril)
0.78	7.56	0.34	8.68	0.07

Fuente: elaboración propia con base en los resultados de la CEPAL-modelo SEIA

Tabla 6.29 Valor de las externalidades de la refinación del petróleo en México

Capacidad de refinación (mbd)	Valor de las externalidades por construcción de infraestructura (dólares/barril)	Valor de las externalidades de la refinación (dólares/barril)	Valor total de las externalidades por refinación (dólares/barril)
300	0.07	0.03	0.1

Fuente: elaboración propia con base en los resultados de la CEPAL-modelo SEIA

Tabla 6.30 Análisis Costo Beneficio; Costo Neto Producción de las gasolinas fósiles en México

<b>Conceptos</b>	<b>Costos y beneficios monetarios (dólares/barril)</b>
Costo de producción promedio	82.4
<b>Valor de externalidades negativas</b>	0.1
Valor de externalidades positivas	<b>0</b>
<b>Costo Neto de Producción</b>	<b>82.5</b>

Fuente: elaboración propia con base en los resultados de la CEPAL-modelo SEIA

Tabla 6.31 Análisis Costo Beneficio; evaluación de la viabilidad económica de la producción de gasolina fósil en México

<b>Conceptos</b>	<b>Costos y beneficios monetarios (dólares/barril)</b>
<b>Precio de venta del barril de gasolina en México</b>	143.1
Costo de producción promedio	-82.4
<b>Valor de externalidades negativas</b>	-0.1
Valor de externalidades positivas	<b>0</b>
<b>Flujo de Caja (FC)</b>	<b>60.6</b>

Fuente: elaboración propia con datos de 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; PEMEX, 2009; 2013

Tabla 6.32 Costo Neto de Producción de electricidad con fuentes renovables y de las gasolinas fósiles en México

	Energía eólica USD\$/MWh	Energía hidroeléctrica USD\$/MWh	Energía solar USD\$/MWh	Energía geotérmica USD\$/MWh	Gasolina fósil USD\$/barril
<b>Costo Neto de Producción</b>	60.8	72.5	284.6	76.9	82.5

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; PEMEX, 2009; 2013

Tabla 6.33 Comparativo de costos de producción de energía para un recorrido automotriz de 100 Kilómetros

	Energía eólica USD\$	Energía hidráulica USD\$	Energía solar USD\$	Energía geotérmica USD\$	Gasolina fósil USD\$
<b>Costo de producción de 15 kWh</b>	0.91	1.08	4.28	1.15	
<b>Costo de producción de 6.94 litros de gasolina</b>					3.5

Fuente: elaboración propia con datos de Investing; SENDECO2, 2016; CRE, 2010; NREL, 2014; PEMEX, 2009; 2013