



01158
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
CAMPUS MORELOS**

LAS EXTERNALIDADES EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA

ADRIANA MARÍA RAMÍREZ CAMPEROS

TESIS

COMO REQUISITO PARA

OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN INGENIERÍA DE SISTEMAS
(GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA)**

Director

DR. Jorge Islas Samperio.



CUERNAVACA, MORELOS

2005

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

m 346411



Universidad Nacional
Autónoma de México

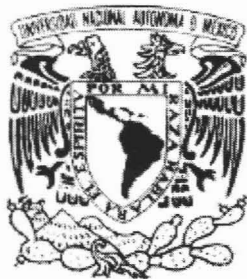


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
CAMPUS MORELOS

LAS EXTERNALIDADES EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA

T E S I S

COMO REQUISITO PARA
OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRA EN INGENIERÍA
(GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA)**

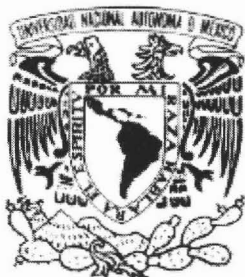
P R E S E N T A:

ADRIANA MARÍA RAMÍREZ CAMPEROS



Cuernavaca, México

2005



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
CAMPUS MORELOS

LAS EXTERNALIDADES EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA

ADRIANA MARÍA RAMÍREZ CAMPEROS

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Adriana María Ramírez
Camperos

FECHA: Julio 7 de 2005

FIRMA: P.A. Pedro Guido Aldana



Cuernavaca, México

2005

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Dedicatoria

Gracias a Dios y a la Santísima virgen María por la vida, por los logros y por todas las maravillas del espíritu santo. Sin la ayuda divina no hubiese sido posible alcanzar esta meta.

A mi sobrina María Daniela, quien partió al cielo el 22 de mayo de 2005, dejando un profundo dolor en los corazones. Solamente nos conforta la esperanza, la fe, el amor en que tú estás bien, no has muerto, estás en un paraíso angelical. Siempre estarás presente en mi pensamiento y corazón. A tu corta edad dejaste muchas enseñanzas de amor, justicia, generosidad, bondad, amistad, comprensión, tus cualidades aquí en la tierra fueron infinitas. Quiero expresarte las gracias, porque tuve la oportunidad de venir a México y compartir contigo toda tu dulzura y virtudes. Tú fuiste una sobrina super..... Con mucho amor tu tía que siempre te tendrá en el corazón.

Adriana

Dedicatoria

Con inmenso amor a las personas que tienen gran valor en mi vida y que a pesar de todas las dificultades de la vida cotidiana siempre están presentes:

Al maravilloso regalo que Dios y la santísima virgen María me han dado mis hijos: Sergio, Fernando Javier y Manuel Eduardo, quienes son mi luz radiante de cada día, con su ternura, apoyo, comprensión... motivan mi vida para alcanzar las metas.

A mis padres, quienes con su ejemplo de amor, piedad, caridad y unión familiar han sembrado muchas cosas bellas en la vida.

A mis hermanas, Ada, Marina, especialmente a Esperanza y a su esposo José Luis, quienes con su apoyo incondicional y generosidad hicieron posible la realización de un logro más.

A mi novio Pedro Guido, quien llegó a mi vida para ofrecerme todo su amor, comprensión y apoyo incondicional de conocimientos en ingeniería.

A mis tías por su amor y sus oraciones que nunca fallan.

A Maria Lourdes Mejía e hijas, por su cariño y constante apoyo.

A mis sobrinos, primas, tíos y demás familiares.

A mis amigas: Margarita Vera, Diana Palacios y Ludy Contreras por su cariño y amistad.

Con mucho cariño a la familia Torrescano España.

Agradecimientos

El autor expresa los más sinceros agradecimientos a quienes proporcionaron su meritorio aporte de conocimientos y experiencias acerca del tema. Además, siempre estuvieron dispuestos a ofrecer una asesoría.

Al comité: Director de tesis Dr. Jorge Islas Samperio, en M en I. Jorge Arturo Hidalgo Toledo; M en I. Arturo Fuentes Zenón; M en I. José Mágina; M en C. Antonio Romero.

A mi primo Dr. Edgar Nelson Sánchez Camperos; Dr. Fabio Manzini Polí; Dr. Dionisio Suárez Cerda; Dra. Donají Suárez Sandoval; Dra. Cecilia Martín del Campo Márquez; Dr. Juan Luis Francois Lacouture; M en I. Flor Cruz; M en I. María Antonieta Vargas; M en I. Carl Anthony Kevin Jungdorf.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA y a todo el grupo de la UNAM-DEPFI-IMTA por todo el apoyo académico y logístico en la realización de la maestría.

Al Centro de Investigación en Energía CIE-UNAM, por haberme dado la oportunidad de cumplir con la meta y por toda la colaboración en la realización de la tesis, especialmente al grupo de cómputo y biblioteca.

A la DGAPA-UNAM por el apoyo para la realización de la tesis.

A, M. en I. Paloma Macías, quien proporcionó información acerca del tema.

A mis amigos, Beatriz Díaz, Richard y Ixis, Guillermo Ovando, Fidel Carrasco, Guillermo Barrios, Beatriz de la Mora, Guillermo Hernández, Adriana Álvarez, Gabriela Hernández, Lourdes Calderón, Berta Cuevas, Roberto Ponce, Alejandro Ordaz quienes me han brindado su amistad y su apoyo incondicional.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN	i
1. PRESENTACIÓN	1
1.2 Medio ambiente, bienes públicos y derechos de propiedad	3
1.2.1 Medio ambiente	3
1.2.2 El ambiente como bien público	5
1.2.2.1 Derechos de propiedad.....	6
1.3 Teorema de Coase.....	7
1.4 Externalidades e intervención del Estado	10
1.5 Externalidades y generación eléctrica	14
1.5.1 Contaminantes del aire	20
1.5.2 Gases invernadero	21
1.5.3 Calidad y uso del agua.....	21
1.5.4 Valor de uso del suelo.....	21
2. INTRODUCCIÓN	25
2.1 Fuentes fósiles.....	26
2.1.1 El Medio Ambiente y los Combustibles Fósiles.....	26
2.2 Emisiones producidas en un análisis de ciclo de vida de las centrales termoeléctricas. 29	
2.3 Externalidades- fuentes fósiles.....	30
2.3.1 Externalidades asociadas al carbón.....	31
2.3.1.2 Externalidades asociadas al gas natural.....	32
2.3.1.3 Externalidades asociadas al combustóleo	32
2.3.2 Externalidades- Quema de combustibles fósiles.....	33
2.3.2.1 Daños a la salud humana	33
2.3.2.2 Daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos	35
2.3.2.2.1 Daño al Medio Acuático.....	35
2.3.2.2.2 Daño al medio marino.....	35
2.3.2.2.3 Daños a Ecosistemas Terrestres	35
2.3.2.3 Daños a la Agricultura	36
2.3.2.4 Daños a la Fauna silvestre	36
2.3.2.5 Daños a los bienes inmuebles	37
2.3.2.6 Cambio Climático	37
2.4 Fuente Nuclear	39
2.4.1 Perspectiva de la Energía Nuclear.....	39
2.4.2 Externalidades Medio ambientales- Nucleares	42
2.5 Fuentes hidráulicas	47
2.5.1 Hidroelectricidad y Medio Ambiente	47
2.5.2 Externalidades- Hidráulica	49

3.INTRODUCCIÓN	52
3.1 Técnicas y métodos de valoración económica de externalidades en la generación eléctrica en un mercado no observado	54
3.1.1 Métodos Directos	55
3.1.2 Métodos Indirectos.....	58
3.2 Técnicas para estimar los bienes y servicios medio ambientales en mercado observado	61
3.3 Métodos utilizados en la práctica	68
3.3.1 Aproximación al costo de abatimiento	68
3.3.2 Aproximación al costo del daño	70
3.3.2.1 Aproximación al top-down.....	70
3.3.2.2 Aproximación al bottom-up	72
3.4Análisis y revisión en la literatura científica internacional sobre la valoración de la externalidad para combustibles fósiles únicamente para países desarrollados mediante la aplicación de los métodos Top-dow y Bottom-up	77
3.4.1Conclusiones e incertidumbre del análisis de la sección valoración de externalidades combustibles fósiles a través de los métodos Top-down y Bottom-up	81
4INTRODUCCIÓN	85
4.1 Situación Actual de la generación eléctrica en México	85
4.2Cálculo de las externalidades provenientes de centrales eléctricas a partir de gas natural en México.....	90
4.2.2Presentación de datos de externalidades e interpretación de resultados	91
4.2.3 Conclusiones de la aplicación del método	93
4.3 Evaluación de Externalidades Ambientales de la Generación Termoeléctrica en México	94
4.3.1 Metodología utilizada	94
4.3.2 Datos requeridos	95
4.3.3Resultados	98
4.3.4Conclusiones del estudio de la SEMARNAT.....	100
4.4Cálculo de externalidades asociadas a las emisiones de NO _x , SO ₂ y PM por combustibles fósiles en México	101
ANEXOS	104
ANEXO A. ANÁLISIS DE EJEMPLOS POR TIPO DE EXTERNALIDAD NEGATIVO Y POSITIVO EN EL SECTOR ENERGÉTICO.....	105
ANEXO B. CLASIFICACIÓN DE EJEMPLOS DE EXTERNALIDAD POR FUENTE CONVENCIONAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	107
ANEXO C. EXTERNALIDADES EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA POR COMBUSTIBLES FÓSILES PAÍSES DESARROLLADOS	109
CONCLUSIONES	111
REFERENCIAS	114

Lista de Tablas

- Tabla 2.4.1 Situación mundial de la energía nuclear. 41
- Tabla 4.2.2. Costos de externalidades por contaminante para el combustible gas natural. (Munksgaard, *et al.*, 1998), (Nocker, *et al.*, 1999). 92
- Tabla 4.3.2 Costos unitarios para casos de morbilidad SEMARNAT, 2004 97
- Tabla 4.3.2.2 Valor de un año de vida perdido SEMARNAT, 2004. 98
- Tabla 4.3.3 Costos externos por Zona y Contaminante, SEMARNAT, 2004. 99
- Tabla 4.3.3.1 Costo externo por tonelada de contaminante emitido, SEMARNAT, 2004. 100

Lista de Figuras

▪ Figura 1.4 Nivel óptimo de Contaminación (Vignolo, 2000).....	11
▪ Figura 1.4.1 Impuesto y Contaminación (Parkin, et al., 2001).....	13
▪ Figura 1.5 Análisis crecimiento económico-Medio ambiente- Externalidad.....	16
▪ Figura 1.5.4 Equilibrio del mercado, sin considerar los costos externos (Vignolo, 2000).....	22
▪ Figura 1.5.4.1 Equilibrio del mercado, considerando el efecto de los costos externos (Vignolo, 2000).....	23
▪ Figura 2.1.1 Demanda de energía primaria a nivel mundial en la actualidad y al 2030 (IEA, 2004).....	27
▪ Figura 2.1.1.2 Panorama de la generación eléctrica en Estados Unidos (DOE-IEA, 2005).....	29
▪ Figura 2.3.1.3 Externalidades asociadas a la generación de energía eléctrica, con combustibles fósiles.....	33
▪ Figura 2.4.1 Externalidades asociadas a centrales nucleares.....	42
▪ Figura 2.5.1 Externalidades asociadas a la hidroelectricidad.....	49
▪ Figura 3. Categorización de métodos y técnicas para valorar cuantitativamente las externalidades en la generación eléctrica.....	54
▪ Figura 3.3.2.1 Aproximación Top-Down.....	72
▪ Figura 3.3.2.2. Principales etapas de la metodología ruta de impacto, (EXTERNE, Vol 2, 1995).....	74
▪ Figura 4.1 Generación eléctrica por fuente de energía, (CFE, Marzo 2003).....	86
▪ Figura 4.1.1 Capacidad instalada efectiva de generación en México (CFE, Marzo, 2003).....	87
▪ Figura 4.1.3 Emisiones de óxidos de nitrógeno NO _x por tipo de central eléctrica en México (Islas, et al., 2004).....	89
▪ Figura 4.1.4 Emisiones de dióxido de azufre SO ₂ por tipo de central eléctrica en México (Islas, et al., 2004).....	89
▪ Figura 4.1.5 Emisiones de partículas PM por tipo de central eléctrica, en México (Islas, et al., 2004).....	90
▪ Figura 4.2.2 Costo externo, asociado al gas natural por emisiones de NO _x , CO ₂ , SO ₂ por energía producida en al año 2003.....	93
▪ Figura 4.4 Costo externo anual por combustible fósil en el Sector Eléctrico Mexicano (Munksgaard, et al., 1998), (Nocker, et al., 1999); (SEMARNAT, 2004).....	102
▪ Figura 4.4.1 Costo externo total incluyendo combustóleo carbón y gas natural para el Sector Eléctrico Mexicano (Munksgaard, et al., 1998), (Nocker, et al., 1999); (SEMARNAT, 2004).....	103

Introducción

En las dos últimas décadas diversos economistas, investigadores y encargados de la toma de decisiones han mostrado especial interés en el tema de las externalidades ambientales de la generación eléctrica. Tal interés se debe a que esta actividad económica a través del tiempo se le ha responsabilizado de una parte de la degradación del medio ambiente imponiendo costos sociales y económicos significativos. Dentro de estos costos se han identificado, daños a la salud humana, daños ocasionados por deposición ácida, daños causados por calentamiento global, daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos, pérdidas económicas significativas en la productividad agrícola, el costo de los daños a los lagos, a los ríos, al suelo, al aire, entre otros. Dichas externalidades no se han reflejado en los costos de generación, por lo tanto distorsionan las decisiones óptimas generando daños al medio ambiente y pérdida de la calidad de vida de la población. En la generación eléctrica la expresión externalidad se define como los costos no considerados, es decir los daños que resultan de la actividad de generar electricidad que no se incluyen en los costos y tarifas del fluido eléctrico (Schleisner, 2000); (Bloustein, 2004). Sin embargo, La estimación de las externalidades ambientales no es una tarea fácil de realizar, ya que en la mayoría de los casos los bienes afectados no tienen un valor en el mercado, son propiedad de todos, por ejemplo el aire que respiramos.

La generación, distribución y uso de la energía eléctrica, juega un papel importante en la sociedad actual, pero de igual manera, es necesario establecer un balance entre los beneficios que representa para el país la generación eléctrica y los costos externos que se generan. Por lo anterior, surge la importancia de analizar y conocer los métodos para monetarizar los daños de la generación eléctrica. De esta forma se podrá dar un paso en el problema de integrar la externalidad a los costos convencionales (capital, operación y mantenimiento, combustible).

Dada la importancia de conocer los métodos para estimar las externalidades, en esta tesis se hará énfasis en los métodos para evaluar el daño. A saber el método *Top-down*, propuesto por (Hohmeyer, 1988), *Bottom-up*, implementado por la Comunidad Europea, 1995) y el método transferencia de beneficios el cual utiliza estimaciones de externalidades de estudios previos y se transfieren al país donde se realiza el estudio.

Finalmente, este trabajo avanzará el estado del arte de la evaluación de la externalidad proveniente de la generación eléctrica y deducirá con la información disponible una primera magnitud de externalidad en México.

La presente tesis tiene los siguientes objetivos específicos:

Objetivos Específicos

- Establecer un marco conceptual de las externalidades ambientales.
- Conocer los daños asociados a cada fuente de generación eléctrica convencional (fósil, nuclear e hidroelectricidad).
- Presentar un panorama de los métodos y técnicas de valoración de externalidades.
- Deducir la magnitud de la externalidad proveniente de la generación eléctrica en México.

Estos objetivos se desarrollarán en los siguientes cuatro capítulos.

Capítulo 1: se presenta un marco conceptual de las externalidades relacionadas con la generación eléctrica de acuerdo a los aportes dados por los diversos autores encontrados en la literatura científica internacional.

Capítulo dos: comprende una clasificación de externalidades por fuente convencional (fósil, nuclear, hidroelectricidad). También, se identifica las causas y los efectos que dan lugar a su origen.

Capítulo tres: se presenta una descripción de los métodos de valoración de externalidades ambientales actualmente disponibles y aplicables a distintos bienes ambientales, así como también el alcance en la aplicación. Además, se conocerán las ventajas y desventajas de cada método.

Capítulo cuatro: se aplicará el método transferencia de beneficios extrapolando los valores de la externalidad por contaminante encontrados en la literatura científica internacional únicamente para el combustible fósil gas natural. De igual modo, con base en el estudio realizado por la SEMARNAT (2004), "Evaluación de Externalidades ambientales de la Generación Termoeléctrica en México"; se analizará y se extraerá el costo estimado de la externalidad para los combustibles carbón y combustóleo. De esta manera, se dará una primera estimación de la externalidades de la generación eléctrica en México.

1. PRESENTACIÓN

El presente capítulo tiene como objetivo establecer un marco conceptual sobre el análisis de las externalidades medio ambientales y resaltar la importancia de su aplicabilidad en el sector eléctrico.

Cuando en Inglaterra se inicia la utilización de la máquina a vapor, a finales del siglo XVIII, empieza una nueva etapa en el pensamiento económico y desde entonces surge la revolución industrial, con un gran auge hacia el progreso y el crecimiento económico de los países participantes. Al mismo tiempo, se generó una presión incontrolada hacia el medio ambiente, es decir, una economía sin restricciones hacia la explotación de los recursos naturales tales como: minerales, combustibles fósiles, madera y suelo, demostrando de esta forma, que a partir de entonces el ambiente estaría regido claramente por las fuerzas del mercado¹ y no por una planeación en la toma de decisiones. Las fuerzas del mercado, conllevan a que las empresas compitan e incrementen su producción y rentabilidad para crecer y sobrevivir generando un aumento en el uso de los recursos naturales y causando daños directos hacia el medio ambiente.

“El crecimiento económico dado en los países que hoy se consideran desarrollados, se caracterizó por no reconocer el valor de los recursos naturales o el efecto de industrialización sobre el medio ambiente” (Varela, 2000, pp. 34). En este sentido, el crecimiento económico trajo consigo un aumento en el uso de los recursos del medio ambiente, sin restricciones medio ambientales, causando daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos, a la sociedad y por ende generando una problemática ambiental.

El crecimiento económico en sí no es responsable de la problemática ambiental, el problema es que no existen restricciones medio ambientales (Jacobs, 1996).

¹ Se entiende por fuerzas del mercado un fenómeno macroeconómico, que opera a un nivel de la economía como un todo. La asignación de recursos y bienes (materia prima, energía, dinero, residuos), se debe a decisiones privadas e intereses propios de cada agente, sin tomar en cuenta las decisiones de los demás, Jacobs (1996).

A manera de ejemplo, podría examinarse el caso de un establecimiento industrial el cual, durante el proceso de producción emite residuos contaminantes a la atmósfera y al no existir restricciones medio ambientales causa daños al medio ambiente y a la sociedad, los cuales no son tomados en cuenta por el productor en sus decisiones económicas.

Algunos autores de la economía del medio ambiente, consideran al crecimiento económico y a la industrialización como la causa de la crisis ecológica (Jacobs, 1996). No obstante, "la degradación del medio ambiente se consideró necesaria e inevitable para el progreso y el desarrollo económico de los países" (Breceda, 1994, pp. 138).

En la actualidad, es evidente que lo que ha caracterizado al crecimiento económico y las diversas actividades económicas, ha sido la generación de bienes y servicios para satisfacer necesidades. También se ha generado un aumento en la riqueza a través de aumentos importantes en el valor agregado de nuevas actividades económicas, pero paralelamente al desarrollo económico se están produciendo impactos adversos al medio ambiente y a la sociedad. En este sentido, se deben evitar consecuencias mayores a través de la prevención y la remediación de los daños ocasionados, asignando parte de la riqueza obtenida por el progreso económico a la solución de los problemas ambientales (Muñoz, *et al.*, 2000).

En suma, la revolución industrial y el crecimiento económico produjeron la apropiación de los recursos de la naturaleza, es decir, la naturaleza como proveedor de insumos para satisfacer las necesidades actuales. Además, no se tomó en cuenta que al mismo tiempo que se satisfacen las necesidades actuales se podrían generar otras futuras como agua, energía, entorno limpio, producto de la presión sobre el medio ambiente proveniente del uso y la sobreexplotación de los recursos naturales, los cuales se extraen del ambiente y se envían al mercado a través de bienes y servicios para satisfacer necesidades. Como se puede apreciar, la industrialización ha ido ocasionando un deterioro ambiental debido a que los agentes económicos se han preocupado por dar una respuesta a las necesidades presentes, sin tomar en cuenta los intereses colectivos futuros.

La degradación del medio ambiente en los últimos años, ha llamado la atención de líderes políticos del mundo (Jacobs, 1996) e igualmente, de grandes instituciones a nivel mundial como los bancos multilaterales de desarrollo, agencias financieras de exportación y los foros ministeriales de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDEa, 1997). Dicha organización señaló mediante un estudio, su posición de acuerdo a las perspectivas de las Naciones Unidas haciendo especial énfasis en lo siguiente:

Las presiones provenientes del crecimiento económico mundial se intensificarán en el medio ambiente global, regional, nacional y local. Las emisiones de invernadero podrán duplicarse entre 1992 y el 2020. Igualmente, habrá crecientes volúmenes de residuos peligrosos, más megaciudades, más agricultura intensiva, explotación de madereras, pesquerías y demanda creciente de recursos de agua potable. A la fecha, junio de 1999 en una sesión especial de la Asamblea General de las Naciones Unidas se concluyó que las tendencias generales para el desarrollo sustentable son peores hoy en día que lo que eran en 1992. Se requiere mayor voluntad política y visión para asegurar que el desarrollo de la economía se haga de una manera sustentable (OCDEa, 1997); (Pruvencio, 2000; pp.12). En consecuencia, el planeta se enfrenta a una seria crisis: por una parte el desarrollo económico de los países no se lleva a cabo de una manera sustentable, ya que se contamina el agua, suelo y aire, que afecta en forma directa el nivel de vida de las poblaciones. Además, como se mencionó anteriormente, los recursos naturales no son bienes ilimitados y las emisiones y residuos de los sistemas de producción y consumo ocasionan impactos al medio ambiente y a la sociedad.

1.2 Medio ambiente, bienes públicos y derechos de propiedad

1.2.1 Medio ambiente

Desde el punto de vista del individuo, el medio ambiente es todo lo que lo rodea como un entorno agradable para el desarrollo de sus actividades, representado por los recursos naturales que se utilizan para crear bienes y servicios, y los ecosistemas acuáticos y terrestres. De igual manera, gran parte del mundo que nos rodea está adaptado por el hombre con la finalidad de satisfacer sus necesidades y aumentar su

calidad de vida. Todo lo anterior, conduce a que la humanidad en general dependa del medio ambiente para sobrevivir, siendo el medio ambiente proveedor de todos los elementos para el sostenimiento de todas las formas de vida.

Adicionalmente, a través de los recursos naturales se producen alimentos y otros bienes para satisfacer las necesidades de la humanidad, pero también, las diferentes actividades económicas para la producción y consumo de bienes, producen desechos que son arrojados a la tierra, aire, ríos, océanos y suelo disminuyendo la capacidad de supervivencia de todos los organismos vivos (Jacobs, 1996). De esta forma, el medio ambiente ha sido utilizado libremente de acuerdo únicamente a las necesidades económicas que existen en el momento, sin tomar en cuenta los daños que se ocasionan, lo que a través del tiempo, ha conducido a una degradación ambiental.

En este contexto, Baumol y Oates (1982) señalan que, la influencia del hombre sobre la calidad del medio ambiente depende de dos variables principales: los daños que causa y la capacidad para reparar los daños. El hombre extrae los recursos del medio ambiente para la producción y consumo de bienes, mientras que el ambiente es receptor de impactos, lo que implica que si no se tiene la capacidad para reparar o evitar los daños ocasionados, se va degradando día los diversos ecosistemas que generan vida en el planeta.

Además, desde el punto de vista ambiental, económico y social, el medio ambiente es proveedor de muchos recursos naturales no renovables (carbón, gas natural y petróleo), y al mismo tiempo los derechos de propiedad de dichos recursos están claramente definidos. De este modo, el medio ambiente es considerado un bien privado o exclusivo, nadie puede hacer uso del bien sin pagar un precio. También, el medio ambiente es considerado como un bien de propiedad común porque actúa como sitio de regeneración, acumulación de residuos y proveedor de recursos naturales comunes, como el agua, el aire y el paisaje. Finalmente, el medio ambiente debe ser estimado como un bien público; ya que además brinda oportunidades de entretenimiento, belleza natural, paisaje agradable y relajación (Bouille, 1994).

1.2.2 El ambiente como bien público

Un bien público de acuerdo con (Tietemberg, 1992, pp56) “es aquel bien cuyo acceso es abierto a toda la sociedad y su consumo es indivisible”. De igual manera, el bien público puede ser consumido colectivamente, si una persona tiene un mayor disfrute del bien esto no implica que otra tenga menos, toda la sociedad se beneficia. Un ejemplo, es el aire que se respira, la cantidad individual requerida para respirar no disminuye la cantidad para otros individuos.

De la misma forma, Méndez (1997) señala que los bienes públicos, son aquellos que están a la disposición de todos y en abundancia como el aire, mar, montañas, y para conseguirlos no se requiere de ninguna transacción económica. A estos bienes públicos también se les denominan bienes no económicos.

Por otra parte, de acuerdo con (Bouille, 1994); (CEPEC, 1999) los bienes públicos se diferencian de los bienes privados por dos principales características:

1) No rivalidad: un bien público, puede ser consumido por más de una persona simultáneamente. El consumo que hace una persona de un bien público, no disminuye la cantidad disponible para otra.

2) No exclusividad: el consumo de un bien público por un individuo, no impide el consumo de ese mismo bien por otros. Es decir, no se puede decidir quién o quién no lo consume, debido a que no existe un parámetro que excluya de su consumo a alguien, sólo las necesidades individuales lo determinan. Es imposible evitar que alguna persona se beneficie del bien público.

En este sentido, Pearce (1985) señala que los bienes públicos están relacionados con el medio ambiente y asimismo estos bienes no tienen mercado. Por ejemplo, el aire puro que respiramos no se compra ni se vende en el mercado. Igualmente, un entorno agradable, la naturaleza, la vida silvestre, ya todos los bienes públicos caen fuera de los mecanismos del mercado. Además no se pueden valorar en términos monetarios.

Jacobs (1996) menciona que el aire puro es un recurso público, no es propiedad de nadie, es un bien libre e indivisible, todo el mundo se beneficia de él, sin restricciones ambientales. De esta forma, las fuerzas del mercado no pueden proveer aire limpio únicamente a la gente que está dispuesta a pagar por él, porque indirectamente se beneficia también la gente que no paga y en tal sentido, nadie puede vender un bien público en un mercado, porque es libre y de propiedad de todos. Además, no existen derechos de propiedad establecidos y definidos.

1.2.2.1 Derechos de propiedad

Uno de los aspectos que caracterizan el medio ambiente es que los bienes de la naturaleza son libres, no existe un mercado para ellos, están al alcance de todos y son gratuitos ya que no existen derechos de propiedad² asignados en forma individual. Cuando se habla de bienes libres de uso común e ilimitado, se manifiesta que no existen derechos de propiedad establecidos para ese tipo de bienes, en caso contrario de que existieran los derechos de propiedad para un bien ambiental, este derecho permitiría su uso y transferencia a través de la venta y entonces sería considerado un bien privado. Además, si los bienes ambientales tuviesen derechos de propiedad establecidos, el mercado regularía el uso de estos bienes. Un ejemplo es el siguiente: una empresa que descarga contaminantes a un río, afecta otros usos del río como la pesca (afecta a la reproducción de peces). Si se cobrara un precio por el uso del río, el comportamiento de uso sería diferente, la empresa no contaminaría el río o tendría que pagar un precio por el daño ocasionado. De la misma forma, los pescadores, tendrían que pagar un precio por el uso del río, y en estas condiciones, tal vez su actividad principal no sería la pesca y sus ingresos no dependerían de esta actividad. Al no existir, en el mercado un precio del bien, se considera que el mercado es inexistente para los bienes públicos, los cuales se caracterizan porque no tienen restricciones medio ambientales y derechos de propiedad establecidos. Cabe destacar las siguientes preguntas: ¿Quién tiene los derechos de propiedad, la empresa que descarga los desechos al río, o los pescadores que se benefician de él?, ¿Es el contaminador o la

² Se entiende por derechos de propiedad cuando un bien es privado y en este sentido, se puede comprar y vender en el mercado.

victima, quién tiene los derechos a contaminar? Sí se supone que es la empresa quién tiene los derechos de propiedad, entonces, los pescadores tendrían que pagar a la empresa por el derecho a hacer uso del río, pero el precio a pagar por los pescadores dependería de la calidad del agua del río, es decir entre mayor sea la contaminación del río, menor será el valor que estarían dispuestos a pagar. De la misma manera, si los derechos de propiedad los tienen los pescadores, la empresa tendría que pagar un costo por contaminar el río, y entre más contaminantes arroje al río mayor será el precio a pagar.

Como se puede observar en el ejemplo anterior, generalmente los problemas medio ambientales, se presentan cuando los bienes son públicos y carecen de precio. De la misma forma, los mecanismos del mercado fallan, al no establecer ningún precio por su uso; así mismo no existen derechos de propiedad definidos y establecidos. La decisión de arrojar contaminantes al río, fue tomada voluntariamente por la empresa y los efectos de la decisión, se reflejan sobre los agentes externos a la toma de decisión. En éste caso, los efectos de la decisión tomada por la empresa recaen sobre los pescadores.

Dentro de este contexto, cabe mencionar que los costos o beneficios de las decisiones de producción o de consumo, que recaen sobre terceras partes, o agentes no involucrados en el proceso de transacción, es lo que se denomina externalidad o efecto externo o costo externo. El costo externo se define como el costo del daño que aumenta con la cantidad producida, en este sentido es considerado una externalidad negativa (concepto que será explicado detalladamente más adelante en este capítulo). Es de anotar que de acuerdo a los párrafos anteriores, las externalidades medio ambientales se originan por la ausencia de derechos de propiedad.

1.3 Teorema de Coase

En relación a los bienes públicos medio ambientales se deduce que la verdadera falla del mercado, se debe a la ausencia de derechos de propiedad bien establecidos y definidos (Coase, 1960). La existencia de los derechos de propiedad facilitaría la

negociación entre las partes afectadas sin importar a cual le fueron asignados los derechos. De esta forma Coase, pone de manifiesto, que una vez que se hubiesen establecido los derechos de propiedad para las partes, los individuos lograrían el máximo beneficio a través de la negociación. La negociación sólo será viable, si las partes tienen derechos de propiedad claramente definidos y establecidos, que puedan defenderse en los tribunales independientemente de cual sea la distribución de los derechos (Miró Rocasolano, 2002).

Como se puede apreciar, a partir del teorema una manera de corregir una externalidad es mediante el establecimiento de derechos de propiedad. De esta manera se facilitaría la negociación entre las partes, como más adelante veremos. En estas condiciones las transacciones privadas serían eficientes. Las partes que realizan las transacciones tomarían en cuenta todos los costos y beneficios no interesando cómo se asignen los derechos de propiedad (Parkin, 2001).

Por otro lado, Medema (1995) señala que cuando se presenta un problema que afecta dos variables (A y B), el problema es considerado de naturaleza recíproca, con base en el teorema propuesto por Coase. Si A causa daño a B, la pregunta que se debe hacer es la siguiente: ¿Cómo se podría detener a A, debido al daño que causa a B? Lo anterior representa un problema de naturaleza recíproca, es decir, para evitar el daño a B, se ocasionaría un daño a A. Entonces, en el momento de tomar la decisión la pregunta que se debe hacer es: ¿Podría A evitar dañar a B, o podría B evitar dañar a A?. El asunto es evitar daños más serios. Por ejemplo, una empresa que arroja desechos tóxicos y contamina un río. Si, se supone que los efectos más graves es la muerte de los peces, la pregunta que se debe hacer para tomar una decisión es la siguiente: ¿Es mayor o menor el costo por la pérdida de los peces, en comparación con el producto cuyo proceso de elaboración ocasiona la contaminación de la corriente? La solución a este problema debe darse de manera integral, es decir, contemplando todas las partes afectadas. Desde el punto de vista de Coase, la empresa produce un bien o servicio para beneficiar a la sociedad en general, y de igual forma arroja los desechos, contamina el río y ocasiona mortandad de peces. Otra pregunta que debe hacerse es: ¿Qué cuesta más, ocasionar daños a la sociedad o al medio ambiente? En el caso que se está analizando, si la empresa deja de producir el bien ocasionaría un daño a la

sociedad y si lo produce ocasionaría daños que podrían ser irreversibles al ecosistema (la muerte de los peces). Para lograr el beneficio de las dos partes, la empresa podría tratar químicamente los residuos antes de verter los desechos a las fuentes de agua y de este modo, el daño al medio ambiente sería moderado. El equilibrio podría reestablecerse en el largo plazo, y además no se alteraría la economía de las personas que viven de la pesca.

Igualmente, la apreciación al teorema de Coase, mediante el establecimiento de derechos de propiedad con costos de transacción bajos es viable cuando las partes involucradas son fácilmente identificables, según Parkin (2001). Además, cuando los costos de transacción son altos y es imposible cumplir con los derechos de propiedad, el esquema propuesto por Coase no funcionaría. Un ejemplo, citado por Parkin (2001), es el siguiente: si un sector de una población de un país, estuviese afectado por la contaminación atmosférica debido a las emisiones de bióxido de azufre provenientes de cierto número de fábricas que emiten bióxido de azufre, la cual ocasionan la lluvia ácida y por ende daños al medio ambiente. Una solución a este problema mediante el planteamiento de Coase no sería posible ya que se estaría incurriendo en costos de transacción muy altos debido a que, negociar con grandes grupos es difícil y costoso. Igualmente cuando todos los grupos tienen incentivos para no pagar los costos de los daños. Situaciones que requieren la intervención del Estado (CEPEC, 1999).

El teorema propuesto por Coase, ha generado críticas por diversos autores, los cuales están en desacuerdo con dar solución a los problemas relacionados con las externalidades por medio de la negociación sin recurrir a la intervención del Estado, porque según Coase los individuos por si solos siempre encontrarían una solución eficiente al problema. Estos críticos consideran que Coase afirma que el Estado no desempeña un papel real en la solución de los problemas de externalidades, lo que implica que el Estado debería de abstenerse de intervenir ya que los individuos siempre encontrarían una solución aceptable (CEPEC, 1999).

1.4 Externalidades e intervención del Estado

El Estado puede intervenir para dar solución a las externalidades medio ambientales a través de impuestos y subsidios. En el caso de una externalidad negativa la solución será a través de un impuesto y para una externalidad positiva la solución será mediante un subsidio (Miró Rocasolano, 2002). El impuesto de carácter piguviano³ tiene como finalidad cobrar a cada individuo que genere un daño ambiental, el valor del daño que representa para la sociedad. Un ejemplo característico es el daño ocasionado a la sociedad por la contaminación del aire. El impuesto piguviano se le aplica a cada unidad de producto no deseable (a cada unidad de contaminación), en una proporción igual al daño marginal social que el producto causa. Este impuesto se le agrega al costo marginal⁴ privado de tal manera que para maximizar las utilidades el agente privado tome en cuenta los costos sociales (Fernández, *et al.*, 2004).

Esta argumentación ha sido retomada por la teoría neoclásica, para justificar la aplicación de impuestos para dar solución al problema de las externalidades medio ambientales (Vignolo, 2000). Así, el costo externo⁵ es incluido en el sistema de precios y por lo tanto los agentes económicos tienen incentivos para ajustar la actividad productiva al nivel que maximice el beneficio privado y el beneficio social. Nótese que, esta apreciación es basada en la hipótesis de que los productores pueden cambiar el nivel de contaminación únicamente reduciendo el nivel de producción.

Vignolo (2000) señala que lo anterior no es completamente cierto ya que el nivel de contaminación puede reducirse por otros medios, tecnologías para reducir la contaminación, lo que implicaría un costo marginal de reducción de contaminación "CMR" asociado. Por lo tanto, los impuestos deberían ubicarse donde el costo marginal de reducción es igual al costo marginal externo. Dicho de otra manera, el impuesto

³ El impuesto piguviano fue propuesto en 1920 por Arthur Cecil Pigou (1877-1959). Quien es considerado el fundador de la economía del bienestar y principal precursor del movimiento ecologista al establecer la distinción entre costos marginales privados y sociales y abogar por la intervención del Estado mediante subsidios e impuestos para corregir las fallas del mercado e internalizar las externalidades.

⁴ Se entiende por costo marginal, lo que le cuesta al oferente producir una unidad más del producto.

⁵ Se entiende por costo externo el costo de la externalidad el cual aumenta con la cantidad producida.

piguviano debe ubicarse donde se cruza la curva del costo marginal externo y la curva del costo marginal de reducción de la contaminación, tal como se muestra en la Figura 1.4

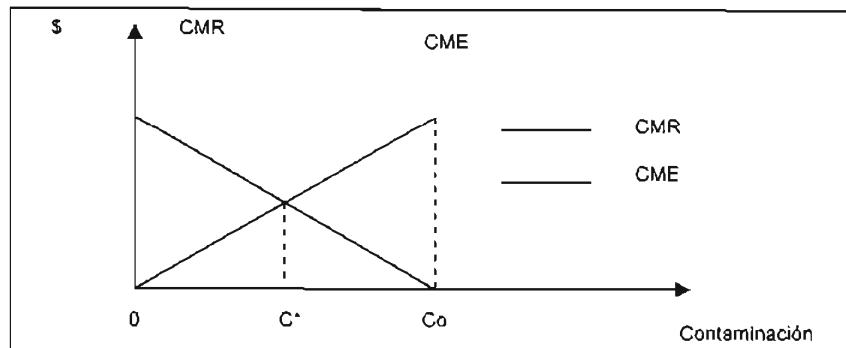


Figura 1.4 Nivel óptimo de Contaminación (Vignolo, 2000).

donde,

CME = costo marginal externo. Indica el costo por una unidad adicional de contaminación.

CMR = costo marginal de reducción. Indica el costo de reducir una unidad adicional de contaminación.

C* cantidad óptima de contaminación. La empresa no obtiene la máxima utilidad, pero tampoco tiene que hacer la máxima inversión para proteger el medioambiente.

Co = punto que indica la cantidad de contaminación si la empresa no invierte nada para proteger el medioambiente.

La Figura 1.4 muestra la curva de costo marginal externo CME, con pendiente positiva, indica que cada unidad adicional de contaminación ocasiona un mayor daño al medio ambiente y un mayor costo para la sociedad que la unidad anterior. La curva de costo marginal de reducción de la contaminación CMR, con pendiente negativa, indica el costo que representa para la empresa reducir una unidad adicional de contaminación. Reducir la contaminación por medio de tecnologías es costoso, por lo tanto reducir una unidad adicional de contaminante resulta más costoso para la empresa que la unidad anterior. La cantidad óptima de contaminación se ubica donde se cruza la curva de costo marginal externo y costo marginal de reducción. A manera de ejemplo

considérese las emisiones de dióxido de azufre SO_2 , proveniente de la quema de carbón en una central termoeléctrica. Una unidad adicional de contaminante SO_2 representa un daño incremental al medio ambiente y un mayor costo para la sociedad CME, que la unidad anterior. Igualmente, la empresa tiene que invertir en tecnologías CMR para reducir las emisiones SO_2 que ocasionan el deterioro del medio ambiente, por lo que reducir una unidad adicional de SO_2 resulta más costoso para la empresa que la unidad anterior. La cantidad óptima de contaminación está dada en el punto donde la curva CME se cruza con la curva de CMR; el desplazamiento de la curva CME a otro nivel empeorará el nivel de contaminación por emisiones adicionales de SO_2 , igualmente será muy costoso para la empresa reducir la contaminación CMR, por emisiones adicionales de SO_2 .

Con base en lo anteriormente expuesto, la intervención del Estado es necesaria para corregir las externalidades medio ambientales. A manera de ejemplo, en Estados Unidos, la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA), dispone de tres mecanismos para corregir las fallas del mercado de acuerdo a (Parkin, 2001) son los siguientes:

- 1) Cargos por emisiones: para establecerlos se fija un precio por unidad de contaminación, de tal modo que entre más contamine la empresa más paga por cargos por emisiones. Para lograr la eficiencia (Parkin, 2001) el precio por unidad de contaminación se debe establecer donde se cruza la curva de costo marginal social de la contaminación con la curva de beneficio marginal (punto Q_1 de la Figura 2).
- 2) Permisos negociables: consisten en que a cada empresa se le puede asignar un permiso para emitir una cierta cantidad de contaminación, asimismo, las empresas pueden comprar y vender estos permisos.
- 3) Impuestos: es una manera de incentivar a los productores o consumidores a que disminuyan una actividad que origina costos externos. Una forma de representar los impuestos para el caso de la producción de energía eléctrica en una termoeléctrica, se explica a continuación. Los costos privados (capital, operación y mantenimiento, combustible) en que incurre el productor de electricidad, no son los únicos costos,

también hay que considerar los costos externos por emisiones de contaminantes que ocasionan la lluvia ácida y el calentamiento global, causando impactos al aire, agua y suelo. Cuando se suman los costos marginales privados y los costos marginales externos se obtiene el costo marginal social de producción.

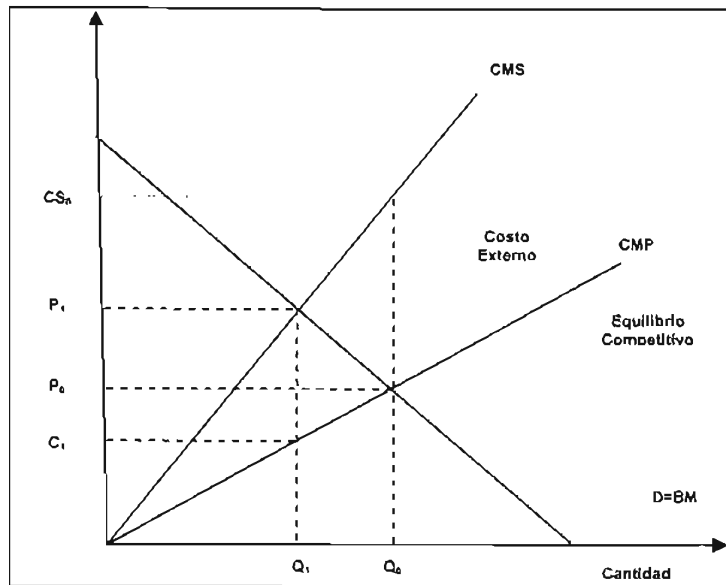


Figura 1.4.1 Impuesto y Contaminación (Parkin, et al., 2001).

La Figura 1.4.1 muestra el mercado de la producción de electricidad. La curva de demanda D es también la curva de beneficio marginal BM , y nos indica cuánto valoran los consumidores las diferentes cantidades de producción de electricidad. La curva CMP , es el costo marginal privado de producir electricidad. La curva CMS representa el costo marginal social que se obtiene de la suma de los costos marginales privados y los costos marginales externos. Si se supone que el mercado es competitivo y no está regulado, el punto de equilibrio está dado en el punto (P_0, Q_0) . A esta escala el costo marginal social es (CS_0) . De este modo, el costo marginal social menos el costo marginal privado es igual al costo marginal externo.

Dada la condición en que el Estado grava la producción de electricidad y establece un impuesto igual al costo marginal externo, hace que los productores de electricidad, incurran en un costo marginal igual al costo marginal social. Entonces, el costo marginal

privado más el impuesto es igual al costo marginal social. De esta forma, el productor se ve incentivado a producir en Q_1 , en donde el precio se incrementará hasta P_1 por unidad de producción y el costo marginal de producción será C_1 y el costo marginal externo estará dado por $(P_1 - C_1)$. En esta situación el punto óptimo se encuentra en (P_1, Q_1) .

En este contexto, cabe mencionar el principio de "quien contamina paga", el cual hace responsable de remediar las consecuencias de la contaminación a quien la produzca.

1.5 Externalidades y generación eléctrica

Baumol y Oates (1982), señalan que para que exista una externalidad, se deben dar dos condiciones: 1) Cuando las decisiones tomadas por un agente económico (personas, empresa, estado) afectan las posibilidades de utilidad o de producción de otro agente que no está involucrado en la transacción. 2) El agente económico afectado no recibe un pago (valores monetarios) por el daño ocasionado o compensación por un beneficio. Por lo tanto, existe una mala asignación de recursos, porque el agente económico que ocasiona el daño no paga, o no existen mecanismos para que pague por los daños o beneficios causados. El efecto no se refleja en las transacciones del mercado.

A su vez, Pearce (1985) menciona que, las externalidades pueden originarse de los insumos usados que causan contaminación, de tal manera que consumirlos puede ser una molestia, lo cual generan disminución del beneficio. Por ejemplo, los bienes públicos como el aire limpio generan beneficios externos y los daños que afectan a la sociedad, como la contaminación generan costos externos, los cuales no tienen un valor en el mercado.

Las externalidades medio ambientales son los costos o beneficios sociales originados de una decisión dada por el productor de electricidad. Tales costos o beneficios sociales no se incluyen a la comparación de costos y beneficios privados. Por ejemplo, la contaminación del aire, agua, suelo, es un subproducto de la elaboración de un bien

final, en este caso la energía eléctrica. La valoración económica de los daños ocasionados al medio ambiente no son considerados en la estructura de costos, por lo tanto, los productores de electricidad maximizan sus utilidades únicamente con costos y beneficios privados, ignorando los costos externos, los cuales recaen involuntariamente sobre agentes no involucrados en la decisión (Call, *et al.*, 1985).

De acuerdo con Jacobs (1996) las externalidades se originan porque las fuerzas económicas generan una presión hacia el crecimiento económico; esto conlleva a que diversos agentes económicos tomen la decisión de producir o consumir recursos del medio ambiente. El medio ambiente actúa como proveedor de recursos, proveedor de bienes y asimilador de desechos, sin restricciones de uso. Las decisiones tomadas por los agentes económicos, tales como uso de fuentes fósiles para la generación de energía, cambio del uso del suelo de un predio forestal en agrícola, estas decisiones generan beneficios económicos para quien las toma, pero a su vez ocasionan un daño al medio ambiente debido a la contaminación y la deforestación⁶. El costo de estos daños se denomina externalidad, porque es un efecto externo a quien tomo la decisión; por lo tanto, recae sobre agentes económicos o terceras partes que no están involucrados en el proceso de decisión. Además, el sistema de precios no incorpora los costos o beneficios sociales originados de decisiones económicas. En esta situación el mercado falla⁷. La Figura 1.5 muestra este comportamiento.

⁶ Más adelante, en el capítulo 2, también se mencionarán daños importantes a la sociedad, como también beneficios sociales.

⁷ Se entiende por falla del mercado cuando el precio no refleja todos los costos y beneficios asociados con una transacción de mercado, por lo tanto el mercado falla al no tomar en cuenta los costos y beneficios sociales, lo que conlleva a una deficiente asignación de recursos y una disminución del bienestar.

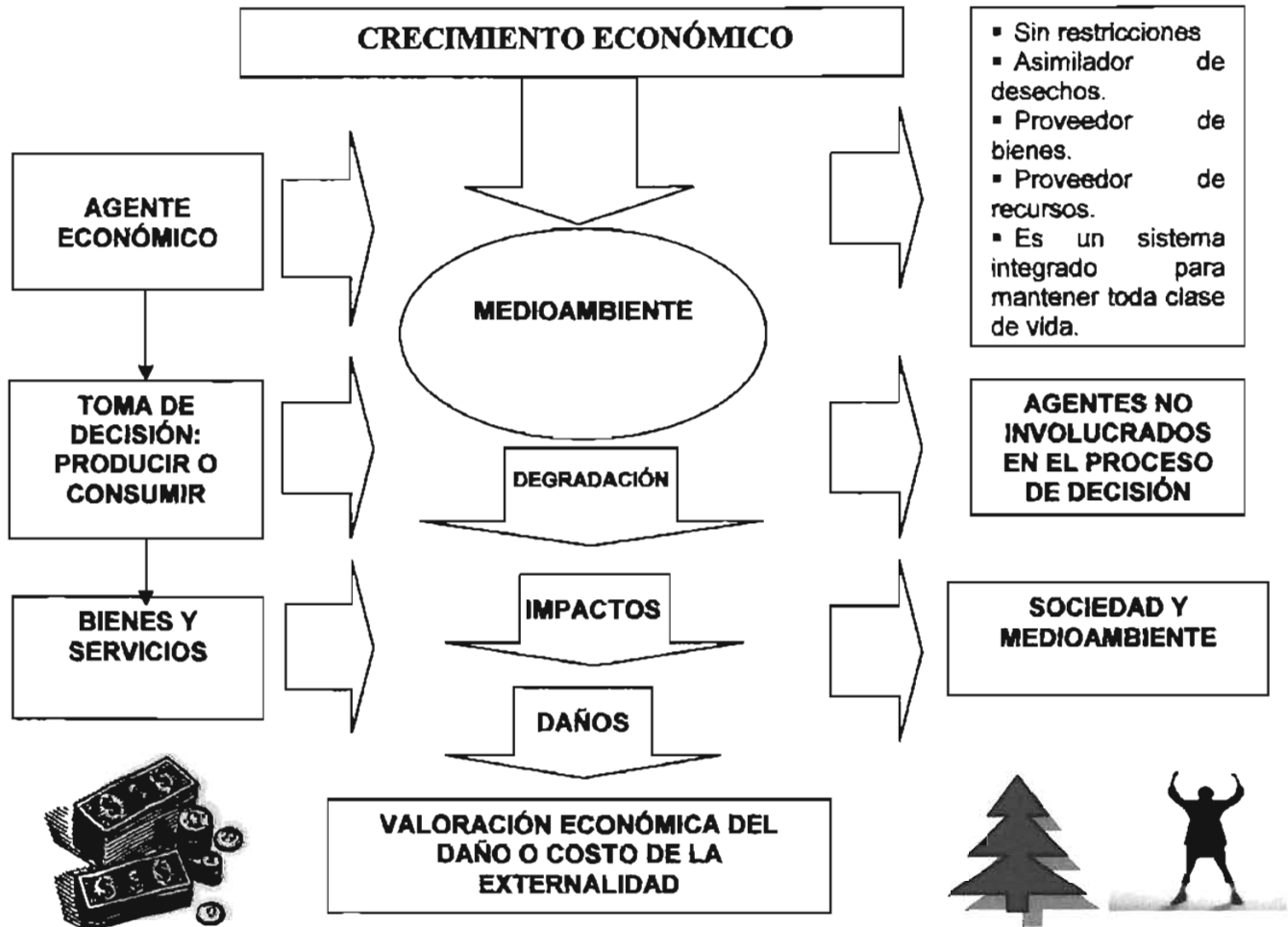


Figura 1.5 Análisis crecimiento económico-Medio ambiente- Externaliadad.

Dentro del contexto anterior, se puede observar que el deterioro del medio ambiente se ha ocasionado especialmente por presiones del crecimiento económico. Esto ha conducido a un agotamiento de los recursos no renovables, al uso y la sobreexplotación del medio ambiente, como también al deterioro de la calidad de vida, lo cual ha sido ocasionada por decisiones de diversos agentes económicos, que no han contemplado el costo de estos daños en sus alternativas de decisión. En tal sentido cabe cuestionar ¿La inexistencia de un valor monetario para los bienes públicos crean externalidad?, ¿La ausencia de derechos de propiedad establecidos y bien definidos para los bienes públicos crean externalidad?, ¿La falta de mecanismos menos flexibles del Estado para dar solución a los problemas ambientales han originado externalidades?, ¿La falta de participación social en las decisiones que toman los diferentes agentes económicos, han creado externalidades?, ¿Por qué el mercado falla

o es inexistente ante los efectos externos causados por las acciones del productor o consumidor?, ¿Por qué los costos externos no se reflejan en el precio del bien?, ¿Deberían detenerse las acciones que ocasionan la degradación del medio ambiente y efectos a la sociedad?, ¿Qué mecanismos tiene el Estado para proteger el medio ambiente?, en fin, los cuestionamientos son muchos.

Por otra parte, día a día se observa el crecimiento demográfico, la contaminación de la atmósfera por emisiones industriales, el agotamiento de la capa de ozono, el calentamiento global; igualmente se contaminan el aire, ríos, lagos, océanos, suelos, y se genera contaminación por transporte y deforestación, incremento de la producción de energía eléctrica. Esta última actividad económica crea externalidades ya que las decisiones tomadas por agentes involucrados en el proceso de decisión no consideran los costos externos en el precio de la electricidad. De modo, que los agentes económicos deberían considerar los intereses privados y los intereses de la sociedad.

Sobre el problema de las externalidades medio ambientales en el sector eléctrico, en lo sucesivo, esta tesis se enfocará a analizar esta problemática. La generación de energía eléctrica en centrales convencionales quema grandes cantidades de combustibles fósiles carbón, gas natural, combustóleo, originando la lluvia ácida, que es ocasionada por las emisiones de bióxido de azufre y de óxidos de nitrógeno, causando daños económicos a la vegetación a las cosechas, a los ríos, a los suelos. En relación con las centrales nucleares, éstas no ocasionan impactos al aire, salvo en situaciones excepcionales: caso de Chernobyl en el año 1986, cuyo costo a las vidas humanas no ha sido cuantificado. Igualmente, la energía nuclear afecta el agua y el suelo por contaminación térmica y se genera un gran problema a raíz de los desechos radiactivos depositados en sitios geológicos. En cuanto a las fuentes renovables, por ejemplo, la energía hidroeléctrica los daños se ven reflejados en el cambio del ciclo hidrológico, en el desplazamiento involuntario de poblaciones, en la alteración de la fauna y flora entre otros. Dada la relevancia de los daños para la sociedad y el medio ambiente ocasionados por el sector eléctrico, la valoración económica de los daños se ha convertido en una prioridad al momento de establecer políticas energéticas que conduzcan a incorporar los costos ambientales en la toma de decisiones, ya que éstos no se reflejan en el precio de la electricidad y por lo tanto recaen involuntariamente

sobre el medio ambiente y la sociedad. De esta manera, surge el interés del estudio de las externalidades o costos externos medio ambientales originados por la generación de energía eléctrica proveniente de la quema de recursos fósiles, siendo ésta la motivación principal para el desarrollo de la presente tesis.

Igualmente, las externalidades medio ambientales en el sector eléctrico pueden clasificarse de tipo positivo y tipo negativo. De modo, que si se incrementa el beneficio, se tiene una externalidad de tipo positivo, en caso contrario, si el beneficio disminuye, como los impactos ocasionados por la contaminación producida por la generación de energía eléctrica, es una externalidad de tipo negativo (Vignolo, 2000). A manera de ejemplo, una población puede ser receptor de una externalidad positiva, si el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico genera beneficios externos tales como la generación de energía eléctrica, suministro de agua para riego, agua potable, generación de empleo, mejoramiento de vías, control de avenidas, recreación y turismo, todo lo anterior conduce a mejorar la calidad de vida de la población, en este caso existe una externalidad positiva. Citando el mismo ejemplo, pero en caso contrario, si el proyecto ocasiona daños al medio ambiente y a la población, tales como el cambio del régimen hidrológico, cambio en el uso del suelo, desplazamiento involuntario de poblaciones, impactos a la flora y fauna, aumento de la inseguridad en la región, disminución de la productividad pesquera, enfermedades de origen hídrico, entre otros, en este sentido será considerada una externalidad de tipo negativo. Como se puede apreciar en las dos situaciones, el beneficio o daño que causa las decisiones de agentes económicos, crean externalidades. En esta tesis, se hará especial énfasis en su estudio. El Anexo A muestra un análisis de ejemplos por tipo de externalidad negativo y positivo en el sector energético.

En la literatura científica internacional diversos autores a través del tiempo han definido la externalidad con relación a la generación de energía eléctrica, los cuales ponen de manifiesto lo siguiente: La externalidad es el beneficio o perjuicio que recibe un agente económico (productor o consumidor), como consecuencia del acto de producción o consumo de un segundo agente económico. El término que expresa el costo de estos daños se denomina externalidad. Las externalidades energéticas son los costos causados no contabilizados a la sociedad y el medio ambiente por los productores y

consumidores de energía, que no se reflejan en el precio de la electricidad. Al no considerar estos costos en el precio de la electricidad se genera una falla del mercado, por lo cual la asignación de recursos no es óptima. Los costos externos existen cuando la evaluación de costos o beneficios privados difieren a los de la sociedad. Por ejemplo, la contaminación representa un costo externo, porque los daños asociados recaen sobre la sociedad y el medio ambiente, de tal manera que no están reflejados en las transacciones del mercado. La generación de energía eléctrica causa diversos daños al medio ambiente. Algunos de estos daños son la acidificación⁸, eutroficación⁹, calentamiento global¹⁰ y los daños a la salud humana originados de las emisiones durante la combustión de los combustibles fósiles¹¹. (James, *et al.*, 1986); (Eyre, 1997); (Hohmeyer, *et al.*, 1997); (Schleisner, 2000); (Sundqvist, 2000) ;(Varela, *et al.*, 2002); (Miró Rocasolano, 2002); (Carlin, 2003); (Asa, *et al.*, 2003).

Según, DOE (1995) los efectos de las externalidades deben ser tomados en cuenta ya que recaen sobre agentes que no están involucrados en el proceso de decisión. En este sentido cabe mencionar que el término genérico de externalidad es el beneficio o costo que resulta de un proceso involuntario en una actividad económica.

Las externalidades asociadas a la generación de energía eléctrica pueden ser clasificadas en cuatro categorías, (DOE, 1995); (INEGI ,1999):

⁸ Se entiende por acidificación el aumento de iones de H⁺ (hidrogeno), en el suelo y en el agua, se produce principalmente por contaminantes atmosféricos (óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre), generados por los procesos de generación de energía eléctrica.

⁹ Se entiende por eutroficación el proceso lento de envejecimiento en el cual un lago se hace rico en compuestos nutritivos especialmente nitrógeno y fósforo causando que las algas y otras plantas vivas, resulten sobreabundantes dando lugar a que el lago se seque o desaparezca.

¹⁰ Incremento de la temperatura de la tierra como consecuencia de la continua emisión de gases a la atmósfera (quema de combustibles fósiles), lo que ocasiona el efecto invernadero. La radiación infrarroja del sol se queda retenida en el ambiente ocasionando un calentamiento de la superficie terrestre y de la parte inferior de la atmósfera.

¹¹ Se entiende por combustible fósil cualquier combustible de origen natural y de naturaleza orgánica como el carbón, gas natural y petróleo.

1.5.1 Contaminantes del aire

- **Dióxido de azufre (SO₂)**

Contaminante producido durante el proceso de combustión de los combustibles con alto contenido de azufre. Los óxidos de azufre son solubles en agua y al hidratarse dan lugar a la formación de ácidos, ocasionando efectos a la salud como enfermedades respiratorias crónicas. Igualmente afectan al medio ambiente, bosques, agricultura, ríos, lagos.

- **Bióxido de nitrógeno (NO₂)**

Este contaminante es generado cuando el nitrógeno contenido en los combustibles y en el aire es oxidado en un proceso de combustión. La acumulación de bióxido de nitrógeno en el cuerpo constituye un riesgo para las vías respiratorias, siendo el caso más frecuente la bronquitis crónica.

- **Monóxido de Carbono (CO)**

Es considerado un gas venenoso, producido por la combustión incompleta de los combustibles fósiles. Además, estudios han demostrado que este contaminante ocasiona daño a la salud, tales como ataques de angina en individuos enfermos de la arteria coronaria.

- **Partículas Suspendidas totales PST**

Cualquier material sólido o líquido presente en la atmósfera cuyo diámetro aerodinámico es mayor que las moléculas individuales pero inferior a 100 micromilímetros. La exposición a partículas suspendidas totales puede causar reducción en las funciones pulmonares, de igual forma aumenta las enfermedades respiratorias.

- **Partículas (PM₁₀)**

Es una medición estándar de la concentración de partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera cuyo diámetro es inferior o igual a 10 micrómetros. Las partículas más pequeñas PM_{2.5} penetran en las partes más profundas del pulmón. Distintos estudios clínicos y epidemiológicos han demostrado que la población más

vulnerable son los niños e individuos que presentan enfermedades respiratorias o cardiovasculares.

1.5.2 Gases invernadero

Los principales contaminantes que contribuyen al cambio climático son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y clorofluorocarbonos (CFC). La comunidad científica internacional ha reconocido que el calentamiento del planeta se debe a actividades producidas por el hombre. Los registros climáticos de los últimos 100 años muestran un incremento en la temperatura global aproximadamente 0.5 °C. Entre los principales daños ocasionados por el calentamiento global están los eventos extremos tales como huracanes, aumento del nivel del mar, disminución en la calidad de los suelos, disminución en la productividad agrícola, entre otros.

1.5.3 Calidad y uso del agua

Los daños al medio acuático son causados principalmente por contaminación térmica¹² originada por las centrales nucleares. Igualmente, se causa daño a diferentes especies acuáticas debido a la deposición ácida y al desarrollo de proyectos hidroeléctricos.

1.5.4 Valor de uso del suelo

Los daños al suelo se ven reflejados dependiendo de la ubicación de la central eléctrica. Además, por la disposición de desechos líquidos, sólidos y nucleares.

Como se puede observar, la diversidad de daños ocasionados al medio ambiente, dependen del tipo de tecnología utilizada, ubicación de la central eléctrica, entorno geográfico y socioeconómico. Esto conlleva a que los criterios para evaluar las externalidades difieran de acuerdo a los parámetros anteriores.

¹² Se entiende por contaminación térmica la descarga de efluentes calentados sobre las aguas naturales a temperaturas perjudiciales para los ecosistemas existentes.

Las decisiones tomadas por los agentes económicos en la generación eléctrica crean externalidades, las cuales afectan a terceras partes. Por ende el mercado falla, lo que conduce a una ineficiencia de recursos expresada por los costos no asumidos por estos agentes económicos, los cuales recaen involuntariamente sobre la sociedad. En este sentido, se produce un desacuerdo entre el costo del agente económico y el costo social. A continuación se representa las dos situaciones del mercado.

1) Situación del mercado sin tomar en cuenta los costos externos, Figura, 1. 5.4.

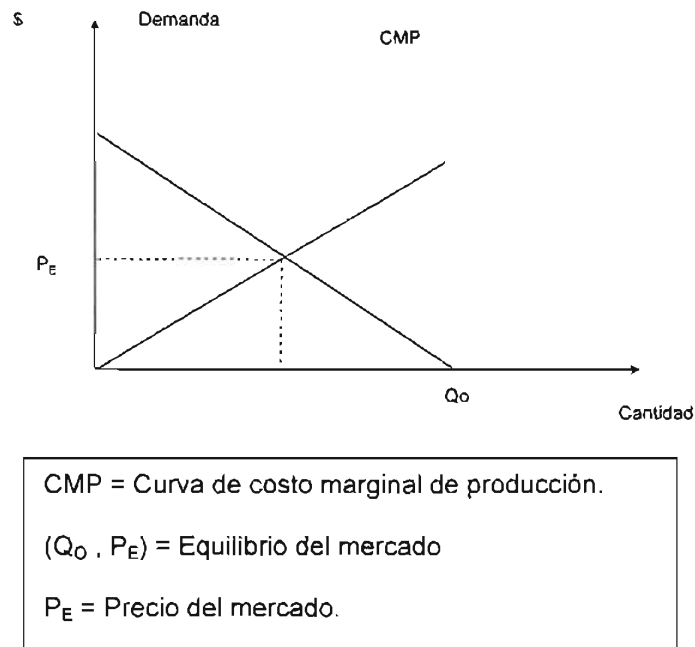
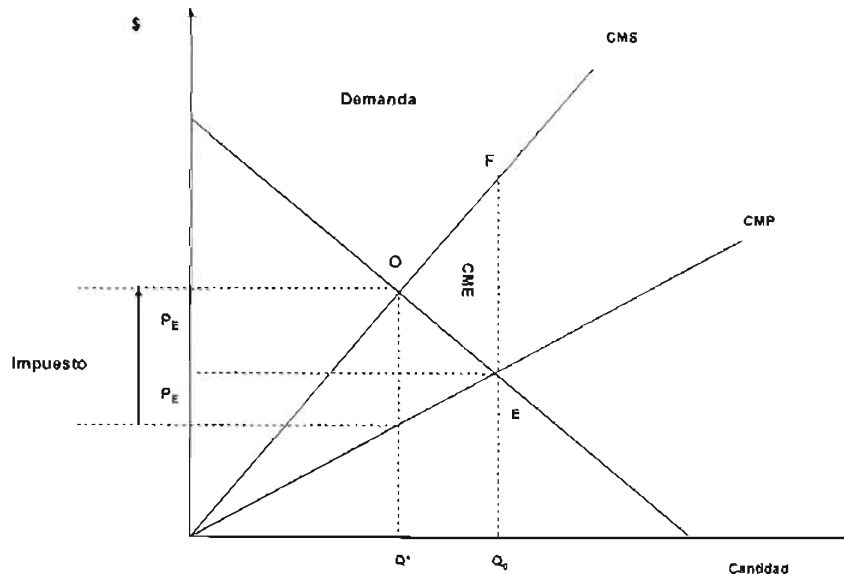


Figura 1.5.4 Equilibrio del mercado, sin considerar los costos externos (Vignolo, 2000).

La Figura 1.5.4 muestra el comportamiento del mercado sin tomar en cuenta los costos externos. Los agentes económicos no consideran los costos externos impuestos por sus actividades, de esta manera, el sistema de precios no incentiva a los agentes a ajustar sus actividades a un nivel donde se alcance el máximo beneficio social. En esta condición la asignación de recursos no maximiza el beneficio social. La teoría neoclásica establece el precio del mercado en el punto donde la curva del productor o costo marginal de producción CMP (costo de producir una unidad más), se cruza con la

curva de demanda (utilidad marginal obtenida por los consumidores). El máximo beneficio social es alcanzado en este punto, denominado punto de equilibrio.

2) Situación del mercado considerando los costos externos, Figura 1.5.4.1



CMP= Curva de costo marginal de producción.
 CMS = Curva de costo marginal social = CMP + CME
 CME = Costo marginal externo.

Figura 1.5.4.1 Equilibrio del mercado, considerando el efecto de los costos externos (Vignolo, 2000).

La Figura 1.5.4.1 muestra el comportamiento del mercado, considerando el costo marginal externo, el cual se define como el costo de la externalidad que se incrementa con la cantidad producida. Al incluir los costos externos, se pueden determinar los costos sociales de una actividad económica, por lo tanto la curva de costos marginales sociales está compuesta por los costos marginales de producción más los costos marginales externos. Una vez incluidos los costos externos, la curva de beneficios marginales privados se cruza con la curva de costos marginales sociales. Por esta situación, el nuevo punto de equilibrio se ubica en el punto (Q^*, P'_E) , en donde el costo marginal social CMS, se cruza con la curva de demanda. La diferencia de beneficio social entre las dos situaciones se define por el área 0EF.

Finalmente, estudios actuales definen la externalidad con relación a la generación de energía eléctrica, como los beneficios o costos generados de una actividad económica, los cuales carecen de precio en el mercado, por lo tanto los costos sociales no son incluidos en la estructura de costos del productor de electricidad. Es decir no son internalizados¹³ en el mercado. La empresa únicamente toma en cuenta en la estructura de costos los costos privados (capital, operación y mantenimiento, combustible) y no considera los costos externos por daños a la sociedad y al medio ambiente. En efecto en el precio de la electricidad, el término externalidad hace referencia al costo externo asociado a cada ciclo del combustible que no es incorporado dentro de la estructura de costos de la empresa. A manera de ejemplo, las emisiones de contaminantes al aire CO, CO₂, SO₂, NO_x, CH₄ provenientes de una central termoeléctrica ocasionan daños al medio ambiente y a la salud humana. Tales daños son externos al mercado en el que se realiza la transacción. La externalidad originada por dichas emisiones no es incluida en el precio de la electricidad (Bloustein, 2004); (Roth, *et al.*, 2004).

¹³ Se entiende por internalizar las externalidades, cuando se logra que los costos externos sean considerados en la estructura de costos de la empresa.

2. INTRODUCCIÓN

Como se ha descrito en el capítulo uno, a través del tiempo muchos economistas se han interesado en el análisis económico de los temas ambientales. Este interés se debe a que la producción, generación y distribución de energía eléctrica ocasiona diversos daños al medio ambiente y a la salud humana, y el costo de estos daños no ha sido integrado en las tarifas de la energía eléctrica; a estos costos los economistas los denominan externalidades. En efecto, el precio de la energía eléctrica en el mercado es importante para seleccionar el tipo de combustible y tecnología para generar energía; sin embargo, el precio de la electricidad únicamente incluye el costo del combustible, costo de capital, operación y mantenimiento, e ignora el costo del daño ocasionado a la salud y al medio ambiente, es decir las externalidades que produce.

Indudablemente, la generación de energía eléctrica es indispensable para el desarrollo socio-económico de un país, pero este proceso ocasiona una serie de daños al medio ambiente y a la sociedad, que recaen indiscriminadamente sobre terceras partes que no están involucradas en el proceso.

Las externalidades medio ambientales se deben tener en cuenta para todas las fuentes de generación eléctrica (fósil, nuclear, hidráulica, geotérmica, solar, biomasa, eólica). Algunas fuentes de generación eléctrica, ocasionan mayores daños ambientales y a la sociedad que otras; en cada ciclo del combustible¹⁴ se producen diferentes tipos de externalidades, que dependen del tipo de combustible utilizado. Algunos ejemplos de externalidades son: enfermedades respiratorias tales como bronquitis y asma debido a la exposición a contaminantes atmosféricos, daños a los bosques y a las construcciones arquitectónicas debido a la lluvia ácida, calentamiento global debido a emisiones antropogénicas, daños a

¹⁴ Ciclo total. De acuerdo con *Energy Information Administration* (EIA), es una serie de procesos químicos, físicos y actividades requeridas para generar electricidad mediante un combustible específico; incluye la extracción y preparación del recurso primario, transporte y almacenamiento del recurso, procesamiento y conversión, finalmente la disposición de desechos.

la salud como cáncer, (debido a contaminantes radiactivos como ocurrió en Chernobyl), daños ambientales a la flora y fauna y al ciclo hidrológico, debido a desarrollos de proyectos hidroeléctricos, entre otros (Hohmeyer, 1992).

En este capítulo se explicarán las diferentes externalidades ambientales, ocasionadas por diferentes fuentes de energía convencional (fósiles, nuclear e hidráulica).

2.1 Fuentes fósiles

2.1.1 El Medio Ambiente y los Combustibles Fósiles

Existen tres tipos de combustibles fósiles: carbón, petróleo y gas natural. Los tres se formaron hace millones de años, durante la era paleozoica a partir de los restos de animales y plantas. Cuando las plantas primitivas, los dinosaurios y otras criaturas murieron, se descomposieron y quedaron enterrados. Al pasar el tiempo varias capas de distintos desechos fueron cubriendo estos cadáveres; durante millones de años estas capas se convirtieron en roca oscura muy dura llamada carbón y un líquido denso llamado petróleo y gas natural que se desprende de él.

Cada uno de los combustibles fósiles se extrae del subsuelo de distintas formas y se consideran como recursos no renovables ya que su formación requiere mucho tiempo y ocurre en forma natural.

Actualmente, de todas las fuentes de energía en el mundo, los combustibles fósiles representan el mayor porcentaje de producción y distribución de energía a nivel mundial (Cosmí, *et al.*, 2003).

De acuerdo con *Internacional Energy Agency* (IEA), en el año 2004 los combustibles fósiles representaron el 90% del crecimiento de la demanda de energía primaria a nivel mundial. La Figura 2.1.1 muestra este comportamiento.

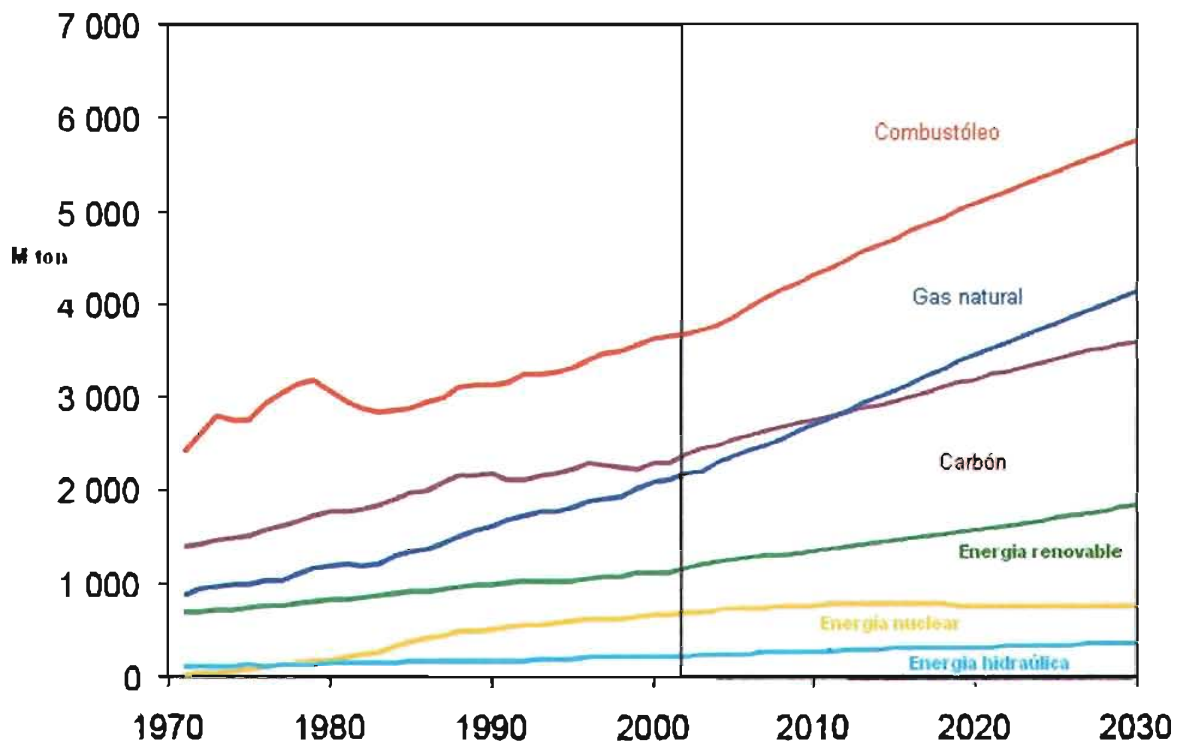


Figura 2.1.1 Demanda de energía primaria a nivel mundial en la actualidad y al 2030 (IEA, 2004).

Los combustibles fósiles no solo representan el mayor consumo mundial de energía, a su vez también son altamente contaminantes por las emisiones que generan durante la combustión¹⁵. Cuando se queman para la generación de energía eléctrica, expiden una variedad de contaminantes, tales como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂), metano (CH₄) y clorofluorocarbonos (CFC). Los combustibles fósiles durante la combustión también producen el dióxido de carbono (CO₂), el cual absorbe la energía radiante, contribuyendo al efecto invernadero. De acuerdo a datos confiables se estima que Estados Unidos es el país que más aporta en términos de emisiones de dióxido de carbono CO₂, produciendo cerca del 22.3% de emisiones a nivel mundial entre 1990-2003 (DOE/EIA, 2004). No obstante, es importante mencionar que en la actualidad han disminuido las emisiones de dióxido de azufre SO₂ y óxidos de nitrógeno NO_x asociadas a la generación y al uso de la electricidad,

¹⁵ Se entiende por combustión la reacción de un combustible (sólido, líquido o gaseoso) con oxígeno, con una liberación de calor al que se le denomina calor de combustión o poder calorífico.

debido a los avances en tecnología y a las regulaciones ambientales. Según la agencia de protección al medio ambiente (EPA), hoy por hoy el aire es más limpio que hace 30 años (DOE-IEA, 2005).

Por otra parte, en el año 2003, Estados Unidos generó 3,848 billones Kwh de electricidad, incluyendo 3,691 billones KWh del sector de generación eléctrica y 157 billones de KWh adicionales los cuales provienen de instalaciones combinadas de calor y energía (CHP), para los sectores industriales y comerciales. Para el caso del sector eléctrico, las centrales térmicas convencionales que utilizan especialmente carbón representaron el 53% de generación, el 21% corresponde a nucleoelectricas, el 15% a gas natural, el 7% a hidroeléctricas, el 3% a combustóleo, el 1% a geotérmicas y otras, (DOE/EIA, 2005). La Figura 2.1.1.2 muestra la generación eléctrica en Estados Unidos por fuente de energía.

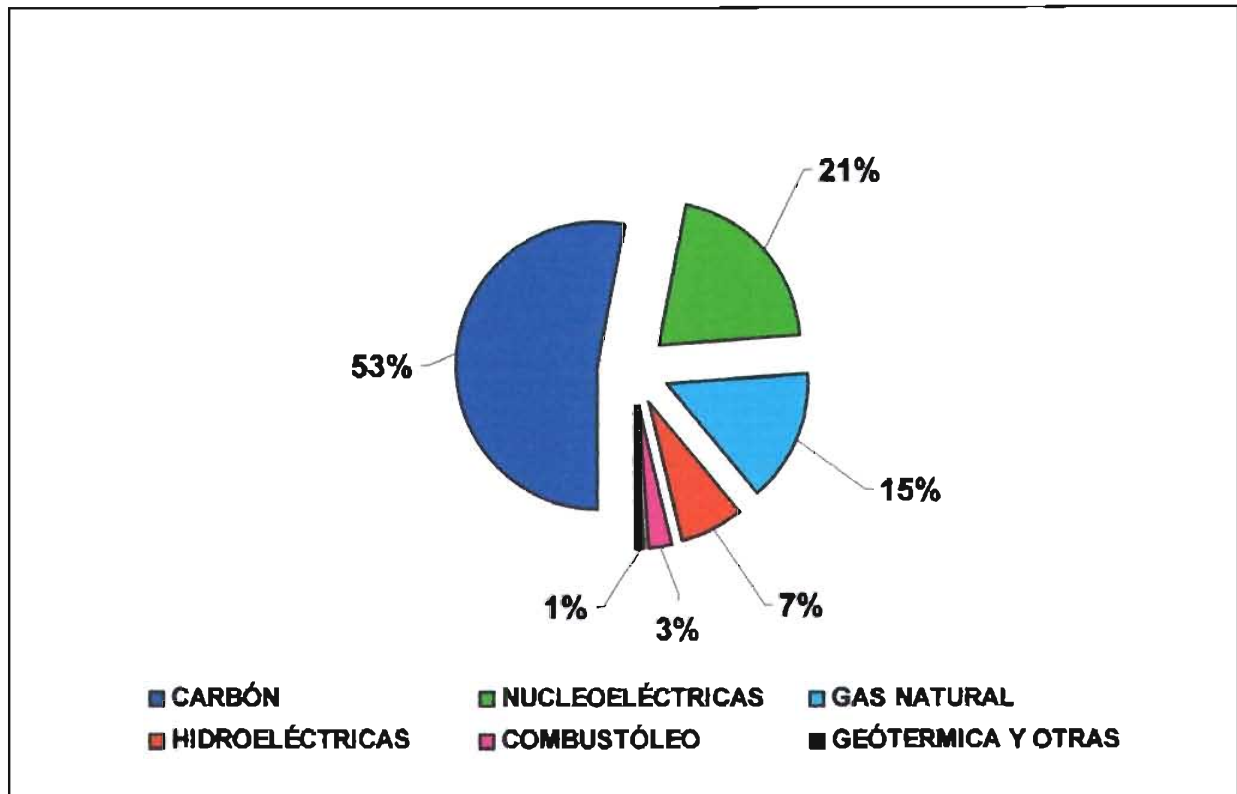


Figura 2.1.1.2 Panorama de la generación eléctrica en Estados Unidos (DOE-IEA, 2005).

2.2 Emisiones producidas en un análisis de ciclo de vida de las centrales termoeléctricas

En general, las centrales termoeléctricas, que utilizan combustibles fósiles (carbón, gas natural y combustóleo), tienen una participación importante en el grado de contaminación debido a las emisiones que se generan, siendo de las importantes a nivel mundial las emisiones de CO₂, las cuales contribuyen principalmente con el cambio del clima del planeta. Dichas emisiones representan el 50% de gases de efecto invernadero (Dincer, 1999). Sin embargo, otros gases CH₄, CFC_s, N₂O, O₃, también contribuyen a este efecto, dando como resultado un incremento en la temperatura del planeta.

Las emisiones generadas durante las diferentes fases del combustible son generalmente estimadas con base en las especificaciones de la central (vapor convencional, ciclo combinado, turbogas y combustión interna), que incluye vida útil, tipo de combustible empleado (combustóleo, gas natural o carbón), grado de contenido de azufre, tecnología instalada para el control de emisiones y operación de la central. La concentración de emisiones varía de acuerdo a razones meteorológicas, condiciones específicas de la localización de la central eléctrica, época del año y dirección de los vientos (Kordoy-Ei, *et al.*, 2002); (Bloustein, 2004).

Por otra parte (Martín, 1994, pp. 11) menciona que las emisiones de óxidos de nitrógeno NO_x , dióxido de carbono CO_2 , óxidos de azufre SO_x y partículas PM_{10} , causadas durante la construcción de la central son del orden de dos o tres magnitudes más pequeñas que durante la operación de la central. Es decir, las actividades que se desarrollan en la etapa de construcción de la central térmica, tales como preparar alimentos, soldar, utilización de maquinarias, generan emisiones poco representativas, comparadas con las emitidas durante la generación eléctrica. Por lo tanto, las emisiones generadas durante la construcción no son relevantes en el análisis de externalidades.

2.3 Externalidades- fuentes fósiles

Las externalidades se presentan en cada ciclo del combustible, y varían dependiendo del tipo de combustible utilizado en la central térmica. De igual modo, la magnitud de los daños depende de la localización y características de la fuente, distribución de población, topografía y clima. Dichos daños se presentan a escala local, regional y global (Scheleisner, 2005).

Externalidades locales: se presentan hasta 50 kilómetros de la ubicación de la central eléctrica. Por ejemplo, en cuanto a los combustibles carbón y gas natural, las externalidades locales están asociadas al ruido durante la operación de la

central y tráfico de maquinaria, y también a daños visuales (Comunidad Europea, 1995a); (Scheleisner, 2005).

Externalidades Regionales: están relacionadas a grandes distancias (más de 50 Km); afectan a un gran número de población. Las externalidades regionales se presentan principalmente debido a los daños causados por la deposición ácida y partículas. Así por ejemplo, daños a la salud (mortalidad y morbilidad). Además, se ocasiona pérdidas económicas en la productividad agrícola (Comunidad Europea, 1995a); (Scheleisner, 2005).

Externalidades globales: se relacionan con los daños producidos por emisiones de CO₂ y otros gases efecto invernadero (CH₄, CFC, N₂O), los cuales originan el cambio del clima del planeta. Las externalidades a escala global son difíciles de estimar debido a que los daños son muy grandes y se presentan a largo plazo. Debido a esto, se presenta incertidumbre en la cuantificación de los daños por gases efecto invernadero, en la aplicación de la función dosis-respuesta y en la monetarización de las externalidades (Comunidad Europea, 1995a); (Scheleisner, 2005).

2.3.1 Externalidades asociadas al carbón

Las externalidades relacionadas al ciclo del combustible del carbón son relevantes. En la fase de explotación minera se presentan pérdidas humanas debido al alto riesgo en las minas. Además, los mineros presentan enfermedades pulmonares. También, se ocasionan accidentes laborales durante la fase de explotación, transporte, construcción y desmantelamiento de la central eléctrica. En la etapa de generación los daños están asociados a las emisiones de CO₂ que contribuyen al cambio del clima del planeta. Por otro lado, las emisiones de NO_x y SO₂, PM ocasionan daños a la salud humana, de igual manera las emisiones de NO_x y SO₂ se relacionan con la deposición ácida, la cual causa daños al aire, suelo y agua (Comunidad Europea, 1995a); (Nocker, *et al.*, 1999); (Martín del campo, 2001).

2.3.1.2 Externalidades asociadas al gas natural

En cuanto a las externalidades que se presentan durante el ciclo del combustible del gas natural son las siguientes: Durante la explotación y transporte del combustible se presentan pérdidas humanas y lesiones. En la fase de extracción del combustible se ocasionan daños a la atmósfera, a los cuerpos de agua ocasionando la muerte de poblaciones de peces y al suelo. En la fase de generación los daños están asociados principalmente a las emisiones de CO₂, CH₄, N₂O, los cuales contribuyen principalmente al cambio climático. (Comunidad Europea, 1995a).

2.3.1.3 Externalidades asociadas al combustóleo

En la fase de explotación y transporte del combustible a los centros de consumo se causan daños básicamente debido al derramamiento del combustible, provocando contaminación de aguas, costas y tierras. De igual modo, los daños se ven reflejados en la pérdida de una gran variedad de especies marinas. También, durante las fases de explotación, transporte y construcción se presentan pérdidas humanas y lesiones. Durante la fase de generación eléctrica los daños se presentan principalmente debido a las emisiones de CO₂, SO₂, y NO_x, PM, las cuales causan daño a la salud humana, y al medio ambiente (Comunidad Europea, 1995a); (Martín del Campo, 2001).

Como se puede apreciar las externalidades asociadas a los combustibles fósiles son relevantes en cada fase del combustible. Sin embargo, la comunidad científica internacional se ha enfocado principalmente en el estudio de las externalidades durante la generación eléctrica debido a los daños a la salud humana y al medio ambiente causados por los contaminantes provenientes de la central eléctrica. Aunque, es necesario señalar que en todas las fases del ciclo del combustible las

externalidades merecen su cuantificación y valoración monetaria, por las pérdidas humanas y económicas significativas que se presentan.

A continuación se presenta una clasificación de externalidades, por emisiones proveniente de la quema de combustibles fósiles.

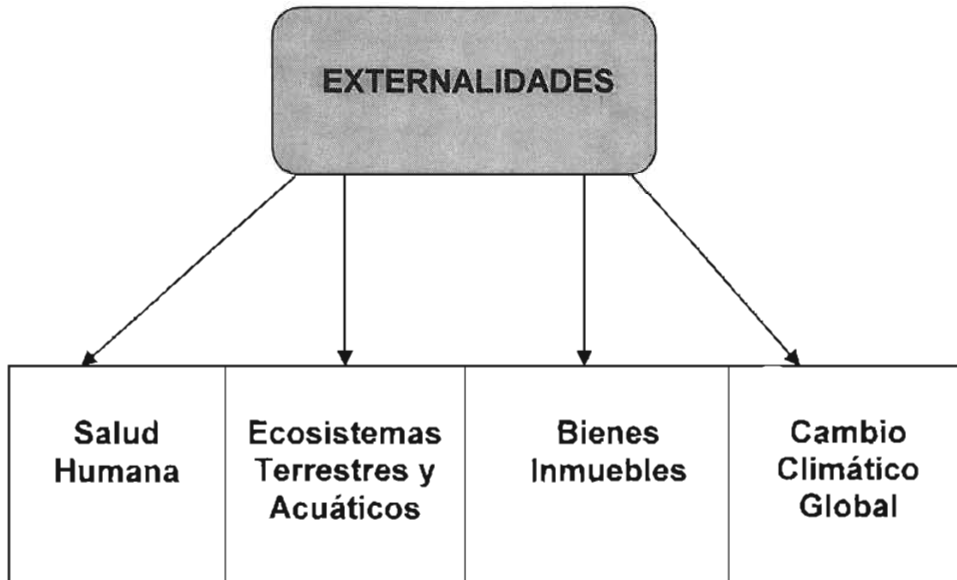


Figura. 2.3.1.3 Externalidades asociadas a la generación de energía eléctrica, con combustibles fósiles.

2.3.2 Externalidades- Quema de combustibles fósiles

2.3.2.1 Daños a la salud humana

Entre los principales contaminantes provenientes de la quema de combustibles fósiles en centrales termoeléctricas que afectan a la salud humana están: el bióxido de azufre SO_2 , los óxidos de nitrógeno NO_x , y las partículas finas $PM_{2.5}$.

- **Dióxido de azufre (SO₂):** Generalmente afecta las funciones respiratorias, causando bronquitis por ingreso de sulfatos y ácidos tóxicos al sistema respiratorio. Además ocasiona dificultad para respirar, tos, irritación de la garganta, irritación de los ojos disminuyendo la visibilidad, opresión del pecho y reducción de productividad y actividad (Martín del Campo, 2001).

Es importante mencionar que cuando en un periodo de 24 horas, las concentraciones de SO₂ como de partículas PM_{2.5} superan los 500 microgramos / metro cúbico de aire, se produce un aumento de la mortalidad en la población (Fernández, 2001). Las poblaciones más afectadas son los niños, ancianos mayores de 65 años y personas de cualquier edad con problemas cardiovasculares.

- **Óxidos de Nitrógeno (NO_x):** Entre los óxidos de nitrógeno, el NO₂ es considerado el más tóxico para la salud humana y animales, afectando el tracto respiratorio. Una concentración media de 190 microgramos de NO₂ por metro cúbico de aire, durante 40% de los días del año, aumenta la frecuencia de infecciones de las vías respiratorias en la población expuesta (Fernández, 2001). De igual manera, se observa que las altas concentraciones de los óxidos de nitrógeno incrementan la tasa de mortalidad y en casos extremos aumentan la susceptibilidad al cáncer de pulmón, también puede ocasionar muertes prematuras debido a las partículas finas (PM_{2.5}), (Martín del Campo, 2001).

- **Partículas sólidas (cenizas, sulfatos y nitratos):** Las partículas finas (PM_{2.5}) ocasionan daños importantes a la salud ya que afectan directamente al alvéolo pulmonar reduciendo la capacidad respiratoria del ser humano. Muchas de estas partículas son ácidas por esta razón causan daños en el tejido pulmonar, igualmente se mantienen por mayor tiempo en el aire lo que conlleva a que sean más susceptibles de ser inhaladas (Martín del Campo, 2001).

2.3.2.2 Daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos

La principal causa de los daños ocasionados a los ecosistemas terrestres y acuáticos es la lluvia ácida. Ésta a su vez, causa la acidificación del agua y del suelo. A continuación se explican los daños sobre los diferentes medios.

2.3.2.2.1 Daño al Medio Acuático

Aumento en la acidez de las aguas; cambia el pH causando efectos en las aguas superficiales y subterráneas, ocasionando daños a la vida acuática tanto piscícola como vegetal. A manera de ejemplo, la extracción del gas natural ocasiona contaminación del agua produciendo la muerte de poblaciones de peces. También, debido a la deposición ácida se ocasiona contaminación de las aguas causando daño a la diversidad acuática.

2.3.2.2.2 Daño al medio marino

En cuanto a los daños ocasionados al medio marino se producen principalmente por el derramamiento del combustible al mar. A manera de ejemplo, se puede mencionar el desarrollo anormal de las algas presentes en el mar, lo cual conduce al empobrecimiento en oxígeno. También se afectan los animales con concha (caracoles, mejillones y ostras), causando la descalcificación y muerte de especies acuáticas en este tipo de aguas (Comunidad Europea, 1995a); (Hohmeyer, *et al.*, 1997); (Söderholm, *et al.*, 2003).

2.3.2.2.3 Daños a Ecosistemas Terrestres

El incremento de la acidez de los suelos, se traduce en cambios de composición de los mismos ocasionando efectos a las raíces de los árboles; al mismo tiempo la

lluvia ácida daña las hojas, causando la muerte de los árboles y además impide el crecimiento en la vegetación. De acuerdo con Hohmeyer, *et al.*, (1997), los efectos de la contaminación a los ecosistemas terrestres se revisan brevemente pero no son cuantificados, debido a que se encuentra poca información disponible para la estimación de daños. Por ejemplo (Nocker, *et al.*, 1999), no cuantifica la externalidad con relación a los ecosistemas terrestres. Los ecosistemas terrestres también pueden ser dañados por otras fases del ciclo del combustible, o por la destrucción directa de habitantes en la zona (Hohmeyer, *et al.*, 1997). Sin embargo, la Comunidad Europea (1995a), para los combustibles carbón y combustóleo ha evaluado los daños a los bosques ocasionados por la acidificación y ozono (O₃), (Söderholm, *et al.*, 2003).

2.3.2.3 Daños a la Agricultura

Es importante mencionar que el bióxido de azufre SO₂ y los óxidos de nitrógeno NO_x ocasionan la acidificación de los suelos, originando pérdidas económicas en la productividad de las cosechas. Por ejemplo, se han valorado los daños por emisiones de SO₂ a las cosechas de trigo, arroz, frijol, avena, betabel. Los daños ocasionados en otras cosechas podrían originarse de la interacción entre diferentes contaminantes y clima (Hohmeyer, *et al.*, 1997). Estudios realizados por la Comunidad Europea (1995a), consideran que también los daños a la agricultura son ocasionados debido al sulfuro y ozono. De igual modo, las pérdidas económicas en cosechas debido a la lluvia ácida son relevantes.

2.3.2.4 Daños a la Fauna silvestre

En cuanto a la vida animal se ocasiona daño a una gran variedad de especies directa o indirectamente debido a los efectos secundarios de la contaminación del aire. Por ejemplo, el agua, la cual se benefician numerosas especies. Al cambiar el pH del agua se produce la acidificación del agua la cual ocasiona daños a la biodiversidad silvestre. Aunque, es importante destacar que la estimación del daño

a la fauna silvestre es cuestionada debido a la incertidumbre que presenta (Hohmeyer, 1988).

2.3.2.5 Daños a los bienes inmuebles

Generalmente, se presenta deterioro, corrosión de monumentos históricos y edificios debido a las emisiones de:

- **Bióxido de azufre (SO_2):** considerado el contaminante más corrosivo. Los óxidos de azufre junto con la humedad forman ácido sulfúrico, el cual puede causar corrosión en metales, daños en contactos eléctricos, deterioro de papel, textiles, cuero y erosión de construcciones de piedra. Esto conlleva a que aumenten los costos de mantenimiento. Para algunas ciudades de Europa tales como Praga, Estocolmo, se evaluaron los costos en pintura, zinc y hierro galvanizado que requiere dicho mantenimiento. Sin embargo, esta evaluación es sujeta a incertidumbre (Hohmeyer, *et al.*, 1997).
- **Óxidos de nitrógeno (NO_x):** a través de la lluvia ácida ocasionan daños a las construcciones. La corrosión y el desgaste de los inmuebles debido a la contaminación del aire es difícil de aislar porque el aire no contaminado también causa corrosión y desgaste de inmuebles. La corrosión debido a la contaminación del aire también ocasiona daños a obras de arte al aire libre especialmente a pinturas en vidrio y esculturas. De igual modo, la corrosión por contaminación del aire origina costos adicionales por limpieza (limpieza de ventanas, ropa, y edificios enteros), (Hohmeyer, 1988).

2.3.2.6 Cambio Climático

Actualmente el dióxido de carbono (CO_2), representa cerca del 50% de gases de invernadero; además, otros gases como metano (CH_4), ozono (O_3), óxido nitroso (N_2O), producidos por actividades industriales como la combustión de

combustibles fósiles, y la deforestación también contribuye a este efecto. La mayoría de los científicos afirman que hay una relación causa-efecto entre los gases invernadero y el clima global del planeta; además predicen que si las concentraciones atmosféricas de los gases de invernadero continúan aumentando, de acuerdo a las actuales tendencias del consumo de combustibles fósiles, la temperatura del planeta podría aumentar entre 2 a 4 grados centígrados en el siglo XXI (Drincer, 1999). Con esta predicción, de acuerdo con el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC¹⁶), el nivel del mar podría aumentar de 13 cm a 94 cm antes de finalizar el siglo XXI, comparado con 9 cm a 88 cm en la actualidad. Este fenómeno podría ocasionar la inundación de zonas costeras, efectos en zonas fértiles para la agricultura, disminución de la disponibilidad de agua para irrigación y otros usos esenciales; tales efectos podrían comprometer la supervivencia de poblaciones enteras. También se puede presentar otros fenómenos; tales como los fenómenos del niño y de la niña, precipitación de los ciclones tropicales, sequías, derretimiento de los glaciares y los hielos polares, olas de calor, precipitaciones que dan lugar a inundaciones y cambios de temperaturas mínimas, más altas y menos días fríos (Colonbo, 1992); (IPCC, 2001).

Lo anteriormente expuesto indica que, los impactos debido al calentamiento global afectan a un rango de receptores: aire, agua, suelo, pero la estimación del daño es difícil de cuantificar debido a las variaciones climáticas (Hohmeyer, *et al.*, 1997). Cabe mencionar hoy por hoy que el riesgo y la realidad de los problemas ambientales como la precipitación ácida, el ozono troposférico, modificación del clima global, desaparición de ecosistemas y alteración de los sistemas defensivos y depurativos del planeta, se debe a la combinación de muchos factores, puesto que las consecuencias para el medio ambiente ocasionadas por actividades

¹⁶ IPCC: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático fue establecido en 1988 por las Naciones Unidas para conseguir una mejor comprensión del tema cambio climático y para proporcionar información científica autorizada a los responsables políticos. El IPCC es la principal fuente de asesoramiento científico a los gobiernos sobre cambio climático, ciencia, impactos y opciones para responder a este efecto.

humanas han crecido aceleradamente debido al aumento de la población, consumo de energía y actividades industriales (Drincer, 1999).

2.4 Fuente Nuclear

2.4.1 Perspectiva de la Energía Nuclear

La tecnología nuclear se implementó a partir de los años cincuenta. Ha llegado a ser una importante fuente para la producción de electricidad (Eibenschutz, 1994). Se debe señalar que existe oposición del público debido al accidente ocurrido el 26 de abril de 1986 que consistió en la explosión de la unidad número cuatro de la central de Chernobyl en Ucrania. Ésta produjo la fusión del núcleo del reactor emitiendo al ambiente toneladas de contaminantes altamente radiactivos, que ocasionaron efectos catastróficos y de larga duración a través del tiempo como cáncer y mutaciones genéticas (Eibenschutz, 1994). Este efecto se produce por que la radiación puede causar cambios en los cromosomas presentes en las células del sexo. Dichos cambios pueden ser comprobados o se supone no afectar al individuo expuesto a la radiación, pero varios efectos pueden aparecer en generaciones subsiguientes (Glasstone, *et al.*, 1986). De igual manera, existe oposición del público a las centrales nucleares por el accidente ocurrido en el año 1979 en la Isla de Tres Millas en Pensylvania, Estados Unidos, que no causó víctimas pero sí pérdidas materiales (IEEE , 2001).

Por otra parte, en Suecia por ejemplo, la producción de energía eléctrica es generada a través de dos fuentes principales, la hidroelectricidad y la energía nuclear; cada una representa un 45 por ciento de la energía generada. Actualmente, las principales políticas del gobierno de Suecia se dirigen a reemplazar la energía nuclear por otras fuentes de energía, que sean económicamente más eficientes y benignas con el medio ambiente. Además, su objetivo principal es disminuir el riesgo del público a la implementación de fuentes nucleares. El gobierno de Suecia debe decidir con base en dos opciones; una es

posponer la fase de cierre hacia el 2010 y continuar usando la energía nuclear. Sin embargo, esta fase se enfrenta al problema del manejo de los desechos radiactivos. La segunda opción es implementar fuentes de energía renovables tales como la generación hidroeléctrica, lo cual aún continúa en proceso debido al costo de las alternativas de energía y los desafíos al medio ambiente. Así mismo el riesgo de escasez de electricidad podría disminuir los niveles de bienestar y aumentar los precios de la electricidad (Viklund, 2004).

Adicionalmente, en el año 1995, los reactores nucleares surtieron alrededor del 17 por ciento de la energía eléctrica mundial. Actualmente operan en 36 países; 16 de ellos pertenecen a la OCDE, donde se ubica el 85 por ciento de la capacidad nuclear mundial (OCDE, 1997). A nivel mundial más de 400 unidades nucleares en operación producen la misma energía eléctrica que las centrales hidráulicas (Eibenschutz, 1994). La energía nuclear representa a nivel mundial el 7 por ciento de la energía primaria comercializada en el año 2000, comparada con el 40 por ciento para el petróleo, 26 por ciento para el carbón, y 24 por ciento para el gas natural; el porcentaje restante corresponde a la energía hidráulica. Sin embargo, el porcentaje de la energía nuclear podría estabilizarse o disminuir alrededor del 2020, aunque la situación es muy diferente de un país a otro. Así, por ejemplo en Francia la energía nuclear fue implementada a partir de la primera crisis del petróleo, y representa más del 78 por ciento de su generación eléctrica, comparada únicamente con el 17 por ciento del nivel global. Francia tiene el 17 por ciento de la capacidad nuclear en el mundo y 55 por ciento de la capacidad instalada en la Unión Europea (Percebois, 2003). La Tabla 2.4.1 muestra una visión general de la energía nuclear a nivel mundial.

Zonas	Capacidad Instalada MW(unidades)	Capacidad en proceso de construcción MW (unidades)	Capacidad Solicitada MW (unidades)	Capacidad fuera de operación MW (unidades)	Capacidad Cancelada MW (unidades)
Norte América	113,043 (125)			12,254 (51)	151,175 (139)
Unión Europea	124,194 (146)			11,716 (48)	32,592 (40)
Europa (no miembros de la unión Europea	3709 (6)			8 (1)	3120 (4)
Europa del Este	15,077 (67)	19,455 (24)	2560 (4)	5260 (20)	48,301 (54) ^a
Asia ^e	65,903 (92)	21,695 (27)	5267 (9)	184 (3)	11,946 (13)
Resto del mundo ^f	4713 (7)	1921 (2)			2063 (3)
Total	356,639 (443)	43,071 (53)	7827 (13)	29,422 (123)	249,197 (253)

Fuente: (Charpin *et al.*, Report 2000, pp. 69) (CEA data)

Tabla 2.4.1 Situación mundial de la energía nuclear.

^a Canadá , Estados Unidos.

^b Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Holanda, Portugal, España, Suecia, Inglaterra.

^c Eslovenia, Suiza, Turquía.

^d Armenia, Azerbaijón, Bielorrusia, Bulgaria, República Checa, Georgia, Hungría, Kazajstán, Lituania, Polonia, Rumania, Federación Rusa, República Eslovaca, Ucrania.

^e Bangladesh, China, India, Indonesia, Irán, Japón, Corea del Norte, República de Corea, Pakistán, Filipinas, Taiwán, Tailandia, Vietnam.

^f África y América Latina, Sudáfrica, Egipto, Argentina, Brasil, México, Cuba.

La Tabla 2.4.1 muestra que, la situación de la energía nuclear a nivel mundial, es muy diferente de una región a otra, o incluso de un país a otro. De los 443 reactores nucleares en operación, 146 están en la Unión Europea 125 en Norte América, 92 en Asia y 67 en los países del Este, 6 en los países no miembros de la Unión Europea y 7 en el resto del mundo.

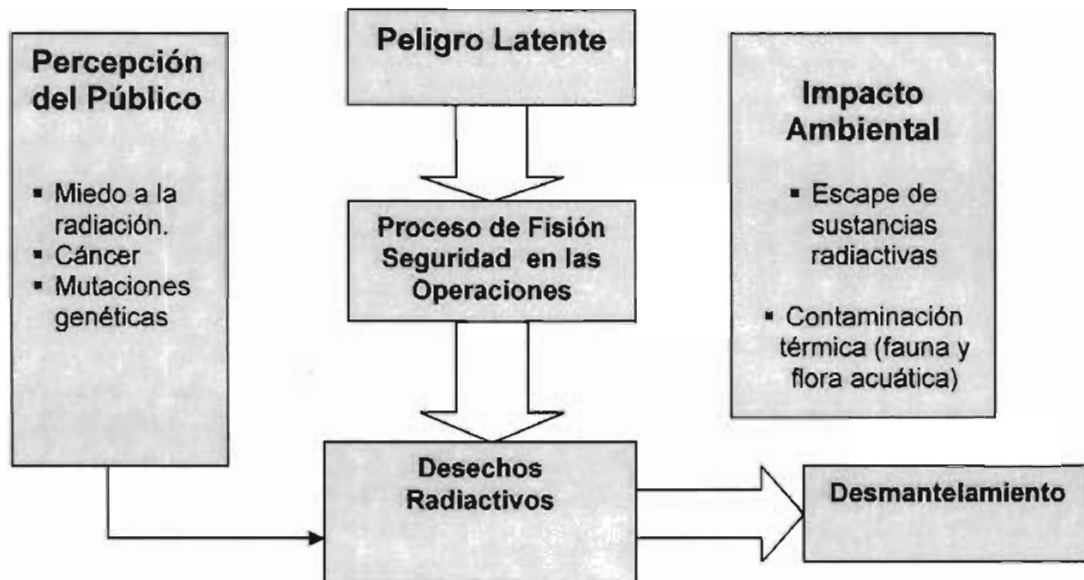


Figura 2.4.1 Externalidades asociadas a centrales nucleares.

2.4.2 Externalidades Medio ambientales- Nucleares

De acuerdo con Glasstone, *et al* (1986) durante la operación de la central nuclear, puede suceder un evento de gran magnitud que afecte a los ecosistemas y la vida en general, colocando en riesgo de exposición a la radiación al personal que opera en la central y a la sociedad debido a la ruptura de tuberías del sistema de enfriamiento primario, ruptura por presión del vaso del reactor, avería de la válvula de control, averías en contenedores, emisión de vapor de agua por las torres de refrigeración, error humano, entre otros. En el caso de una falla del reactor nuclear escaparían contaminantes radiactivos que ocasionarían efectos irreversibles. Por

ejemplo, se presentarían daños a las células del cuerpo causando cambios en los cromosomas o mutaciones genéticas las cuales pueden ser originadas por varios agentes mutagénicos como radiación, calor y numerosas sustancias químicas (Glasstone, *et al.*, 1986). Igualmente, se producirían efectos somáticos por radiación al momento del evento o a largo plazo, dependiendo de factores biológicos propios del individuo, por lo tanto, no todos los seres humanos se afectarían de la misma forma por una dosis de radiación, por ejemplo, una dosis de 5-75 rems¹⁷ produciría efectos en los glóbulos blancos en individuos; de 200-600 rems, produciría vómito y de 300 rems o más cambios en la sangre, hemorragia e incremento a la susceptibilidad a infección particularmente con alta dosis de radiación y de 600-1000 rems se presentaría vómito, cambios severos en la sangre, hemorragia infección, y pérdida del cabello¹⁸. En cuanto a los efectos somáticos a largo plazo están los diversos tipos de cáncer incluyendo leucemia, tumores en la glándula de la tiroides, cáncer de pulmón lo cual no es común en las personas pero depende de la dosis de radiación; también puede presentarse cáncer en el seno de la mujer expuesta a grandes dosis de radiación. Entre otros tipos de cáncer generado por menores dosis de radiación están: los efectos a la faringe, el estómago y el páncreas. Además, la exposición a la radiación podría causar la disminución de la esperanza de vida en las personas.

De igual manera, durante la operación normal de la central; se afectan los organismos acuáticos por la descarga de pequeñas cantidades de materiales radiactivos a los cuerpos de agua. Por ejemplo, a las etapas tempranas de la vida de los peces, éstas son más sensibles a la radiación que los adultos. De igual modo, la radiación produce efectos sobre las plantas acuáticas, las cuales forman parte de la supervivencia de los peces, especialmente por la acumulación de

¹⁷ La dosis equivalente en rems = dosis recibida (en rads) x factores modificados. La dosis recibida es la cantidad de energía recibida de radiación. Depende de los factores modificados (radiaciones naturales en que el individuo siempre esta expuesto en la central, energía, condiciones de la radiación y otras consideraciones como el tiempo y el espacio) (Glasstone, *et al.*, 1986).

¹⁸ La información sobre los efectos somáticos que pueden presentarse al momento de una eventualidad, ha sido obtenida del estudio de las víctimas de la bomba atómica en Japón, Agosto de 1945 (Glasstone, *et al.*, 1986).

elementos químicos que presentan cesio (Cs), manganeso (Mn), e itrio (Y). Estos elementos químicos están presentes en el agua en que las plantas viven. Además, los organismos acuáticos se afectan directa e indirectamente por contaminación térmica, ésta causa daño a diversas formas de vida acuática, debido al aumento de la temperatura del agua (Glasstone *et al.*, 1986).

Desde el punto de vista del público (Figura 2.4) las externalidades asociadas a las centrales nucleares están relacionadas con la percepción del riesgo de una falla del reactor nuclear; es un impacto social difícil de resolver por la actitud de rechazo de la sociedad a la implementación de esta fuente de energía. Además, la contaminación radiactiva produce efectos de gran escala, caso de Chernobyl en Ucrania 1986, lo cual afectó a más de cien millones de personas. También la sociedad protesta ante la implementación de esta fuente energética debido al riesgo del manejo de los desechos o basura radiactiva (Hohmeyer, 1992), (Eibenschutz, 1994). Los impactos a la salud se presentan generalmente a largo plazo, como cáncer y efectos a generaciones futuras, tales como daños genéticos (Hohmeyer, 1992). Los tipos de riesgos son generalmente de pequeña probabilidad y grandes consecuencias, sin embargo la población tiende a preocuparse más acerca del riesgo de las centrales nucleares comparado con otros tipos de riesgos (Drottz-Sjöberg, *et al.*, 1994). El valor de la externalidad del riesgo está asociado con la exposición del individuo a la radiación, durante la operación normal de la central, o una situación de contingencia como falla en el reactor, o error humano. Sin embargo, el riesgo también proviene del almacenamiento del combustible gastado, la utilización del combustible en centrales nucleares para otros fines, como terrorismo (Markandya, 1997).

Como se mencionó anteriormente, una de las preocupaciones del público hacia las centrales nucleares es el manejo de los desechos radiactivos. Éste ha sido el principal problema en los países donde gran parte de la energía eléctrica se genera a través esta fuente. Los desechos radiactivos están clasificados de alta, media y baja actividad (IEEE, 2001). En cuanto a los de alta actividad, se

relacionan principalmente con el combustible irradiado proveniente del reactor y el residuo líquido de alto nivel producido durante el reprocesamiento que es una forma de manejo de los residuos. El reprocesamiento consiste en un tratamiento químico, en condiciones de absoluta estanqueidad, para separar los materiales utilizables de los residuos radiactivos, es decir el uranio y el plutonio; los productos no recuperables de este proceso son almacenados. Parte de estos desechos radiactivos son mezclados con vidrio caliente y solidificados, para su almacenamiento definitivo; esto no disminuye el peligro continuo que representa para el público y el medio ambiente, el almacenamiento de residuos radiactivos en sitios geológicos por cientos de años. Otra forma de almacenamiento es la disposición directa del combustible irradiado sin reprocesar; éste puede compactarse y colocarse en un tonel seco, aproximadamente de 5 metros de altura y 2.5 metros de diámetro con un peso de más de 100 toneladas métricas; seguidamente los trabajadores sellan el combustible y lo depositan en contenedores de metal o concreto y metal. Estos contenedores son almacenados cerca de donde el combustible fue utilizado, o en un lugar cercado controlado y supervisado, llamado cementerios nucleares, o definitivamente en estructuras geológicas profundas (IEEE, 2001). De igual modo, la basura radiactiva se puede colocar en espera, mientras se toma la decisión de reprocesar el combustible irradiado o la disposición directa del mismo. En cuanto a los desechos de media actividad, su proceso consiste en agrupar los residuos líquidos y sólidos mediante la evaporación o compactación. Algunos desechos de media actividad son los tubos metálicos que contuvieron el combustible de uranio, partes metálicas de los reactores y residuos químicos; seguidamente se mezclan con concreto y se almacenan en sitios seleccionados bajo vigilancia, generalmente se almacenan en el mismo sitio de producción. Finalmente, la ropa de protección y equipos de laboratorio, que tuvieron contacto con material radiactivo son llamados desechos de baja actividad. El riesgo de la disposición de desechos radiactivos es un factor muy preocupante para la operación de centrales nucleares (Eibenschutz, 1994); (Percherbois, 2003).

Otro problema significativo, de las centrales nucleares es el desmantelamiento, cuando termina su vida útil, que generalmente es de 40 años. Esto conlleva a cuestionarse que hacer con los residuos radiactivos acumulados durante años. No se puede simplemente desmantelarse y deshacerse de sus partes. La clausura de una central nuclear implica problemas muy complejos como costos, cantidad de basura radiactiva y seguridad del desmantelamiento, por estas razones la Comisión Regulatoria Nuclear de Estados Unidos (*Nuclear Regulatory Commission*), extiende por 10 años más la licencia de operación de centrales nucleares, después de expirar los 40 años. En Estados Unidos las centrales nucleares tienen licencia por 40 años la cual es renovada por 10 años más de acuerdo a Comisión Regulatoria Nuclear (IEEE, 2001).

Por otro lado, el ciclo de combustible nuclear emite los niveles más bajos de gases efecto invernadero, comparado con otra fuente de energía eléctrica (OCDE, 1997). En Alemania por ejemplo, en el año 1990, operaron 20 centrales nucleares; de esta manera, se disminuyeron las emisiones de dióxido de carbono CO₂, a la atmósfera. La opción de la energía nuclear podría contribuir a conservar el clima. Para el caso de Francia, en el año 1990 la generación de electricidad emitió muy poco CO₂, ya que las fuentes principales de energía fueron: la energía nuclear con un 75 por ciento y la hidroelectricidad con un 14 por ciento. De esta manera se redujeron las emisiones de gas invernadero en un 15 por ciento. Francia ya cumple con el objetivo considerado en los criterios de Kyoto y su compromiso es llegar a reducir las emisiones de CO₂ a cero (según concilio realizado en junio 17 de 1998). De igual manera, en Suecia, también se encuentran condiciones favorables de protección al clima (Kuczera, *et al.*, 1999).

En cuanto a la estimación de externalidades ambientales (Hohmeyer, 1988); (Ottinger *et al.*, 1990) evalúan la probabilidad de accidente, tomando como base para sus estimaciones el accidente de Chernobyl. Según Pearce (1992), la percepción del riesgo es el valor más alto de la estimación, relacionado a accidentes nucleares y para estimar el riesgo utiliza una función cuadrática entre el

tamaño de la población afectada y la externalidad asociada (percepción del riesgo). La Comunidad Europea (1995a), para estimar la percepción del riesgo, toma como punto de referencia el caso de Chernobyl. La externalidad igualmente está relacionada con impactos a la salud debido a la contaminación radiactiva por transporte del combustible y operación de la central, así como también con un evento de gran magnitud que ocasione la muerte debido a grandes dosis de radiación. De acuerdo con Nocker *et al.*, (1999) la externalidad a la salud está asociada por exposición a la radiación. Según la dosis que se reciba el individuo puede presentar diversos síntomas tales como vómito, náuseas, pérdida del cabello, hemorragia, daños en el sistema nervioso central, y en casos más severos cáncer (Glasstone, *et al.*, 1986); (EPA/GOV). Recientes estudios estiman la externalidad muy baja para el ciclo del combustible nuclear, debido a que no incluyen la percepción del riesgo y las consecuencias a la población por implementar esta fuente de energía (Hohmeyer, *et al.*, 1997).

2.5 Fuentes hidráulicas

2.5.1 Hidroelectricidad y Medio Ambiente

Las centrales hidráulicas son fuentes de electricidad, que no afectan el clima y son económicamente atractivas (Kuzcera, 1999). Además han sido consideradas como una potencial solución a los problemas ambientales, especialmente por los daños ocasionados por lluvia ácida y el calentamiento global. Algunas opciones tales como las energías renovables, la conservación de energía y tecnología de almacenamiento de energía han sido propuestas para contrarrestar el cambio climático. En particular, desde la crisis del petróleo a inicios de los años 1970, en el mundo se ha desarrollado investigación tecnológica en el campo de los recursos de energía renovable (Dincer, 1999).

En lo que se refiere a las centrales hidráulicas, se caracterizan sin embargo, por la gran variedad de daños que causan a los ecosistemas terrestres y acuáticos, pero también por los beneficios sociales que producen tales como la generación de

energía eléctrica, control de inundaciones, abastecimiento de agua potable, navegación y turismo. La magnitud de daños al medio ambiente y a la sociedad son relevantes.

En efecto, de acuerdo a la Comisión Mundial de Represas (WCD, 2000), los proyectos hidroeléctricos tienen altos impactos a nivel local y regional por las modificaciones que producen en su medio físico, económico, político, social, ambiental y cultural. Además, ponen de manifiesto que los proyectos hidroeléctricos conllevan pérdidas significativas en cuanto a los ecosistemas terrestres y acuáticos, afectando la flora y fauna. Cabe resaltar la importancia del desplazamiento de las personas y sus consecuentes problemas sociales, tales como, pérdidas simbólicas y culturales en los grupos locales desplazados, así como cambios en sus actividades de subsistencia y hábitos de vida.

Por otra parte en el año 1997, el comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD), consideró de gran importancia su seguridad; por lo que previene accidentes a través del monitoreo e identificación de zonas de alto riesgo. En su análisis enfoca que todo proyecto hidroeléctrico debe basarse en criterios económicos, sociales, ambientales, y culturales. En cuanto al análisis económico es una tarea compleja aún para las presas diseñadas bajo un esquema multi-propósito, lo cual requieren de largos periodos de estudio. De las 25,410 presas a nivel Mundial registradas en el año 1998, la mayor parte han sido construidas principalmente para irrigación, generación de energía eléctrica, suministro de agua potable, control de avenidas, cultivo de peces. Sin embargo, las inversiones en energía hidráulica han ido aumentando día con día, ya que se considera una alternativa a los problemas de contaminación del aire y la reducción del calentamiento global. Según las estadísticas de WCD, (2000), de las 48,000 grandes presas a nivel mundial solamente 5,300 fueron construidas para la generación de energía eléctrica y unas 13,300 para cumplir más de una función; al mismo tiempo muchas presas de usos múltiples generan electricidad aunque el porcentaje exacto no ha sido calculado. A nivel mundial, la construcción de presas, ha estado en debate debido a las

externalidades que ocasiona al medio ambiente y las relacionadas con el desplazamiento involuntario de varias poblaciones que ha producido. Además, existe gran controversia acerca de las mismas, algunos países las consideran importantes y otros no. Actualmente, la generación de energía hidráulica compite con otras fuentes de generación eléctrica (Lecornu, 1997).

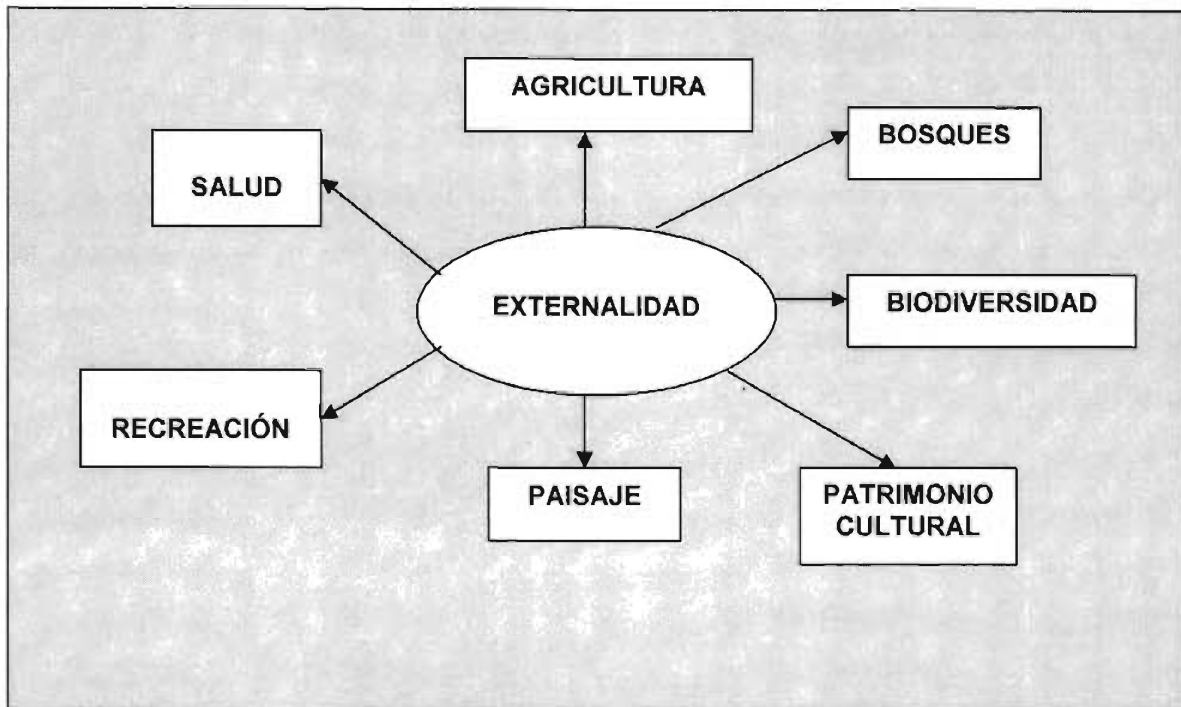


Figura 2.5.1 Externalidades asociadas a la hidroelectricidad.

2.5.2 Externalidades- Hidráulica

En este contexto, cabe resaltar que todo proyecto de infraestructura enfocado a la construcción de un embalse para la generación de energía eléctrica, ocasiona externalidades físicas y sociales (Figura, 2.5.1). El costo social está asociado con el uso de la tierra en el área del proyecto y el desplazamiento de las poblaciones afectadas por el mismo. Este daño constituye un costo social alto ya que implica la reubicación de la población afectada, inundación de sitios arqueológicos, modificaciones en la cultura y costumbres, religión, medios de subsistencia, pérdidas de tierras, hogares y trabajo (Kaygusuz, 2002). De acuerdo con WCD

(2000), los beneficios derivados de las presas han sido considerables, aunque se ha pagado un precio inaceptable en términos sociales y ambientales. Manifiesta que muchos de los desplazados no recibieron compensación y aquellos que fueron reubicados nunca restauraron sus modos de vida. Igualmente, los pueblos indígenas, las tribus y las minorías étnicas han sufrido impactos negativos en su cultura, modos de vida y espiritualidad. Además las mujeres han sido discriminadas al momento de compartir los beneficios. El reasentamiento ha incrementado los problemas de salud mental y física; especialmente las consecuencias han sido reflejadas en las personas que habitan río abajo, quienes han sufrido enfermedades como esquistosomiasis y malaria por la alteración del caudal del río. En otras palabras, representan un costo psicológico-social, por enfermedad, muerte y reubicación de la población (Hohmeyer, 1992).

Por otra parte, las presas emiten gases efecto invernadero producido por la descomposición de la vegetación, los suelos inundados y la materia orgánica que llega arrastrada hasta el área del embalse, los cuales emiten anhídrido carbónico y metano. Según (WDC, 2000), entre el 1 y el 6 por ciento de las emisiones mundiales de estos gases provienen de aguas embalsadas (Imhof, *et al.*, 2000).

Adicionalmente, las externalidades ambientales están relacionadas con el cambio en el régimen hidrológico que causa alteración de los ecosistemas terrestres y acuáticos afectando la flora y fauna, especialmente aquella que no tiene posibilidad de restablecerse. La sedimentación en el embalse origina pérdida en la capacidad de almacenamiento, cambios en las características del suelo por el peso del agua contenida en las presas provocando modificaciones de impredecibles consecuencias tales como temblores (Flores, *et al.*, 2001). En general los embalses inundan los ecosistemas terrestres incluyendo el hábitat irrecuperable para las especies en peligro de extinción, alteran la distribución de corriente del agua, afectan las áreas río abajo y también reducen la productividad (Arreguín, *et al.*, 1999); (Flores *et al.*, 2001); (WCD, 2000).

La estimación de externalidades ambientales en el desarrollo de un proyecto hidroeléctrico, dependen de los parámetros del sitio específico y de la ubicación de la central hidroeléctrica, lo que no sucede con las centrales termoeléctricas las cuales ocasionan daños a escala local, regional y global afectando al aire, agua, suelo, clima, por emisiones de contaminante atmosférico. La estimación de los daños depende también del tipo de proyecto; por ejemplo, un embalse para la generación de energía e irrigación, requiere de una gran área inundada, afectando negativamente muchos recursos ambientales, fauna, flora, bosques, ríos, lagos peces, entre otros. La valoración de los daños debe realizarse con base en los daños identificados en cada propósito (energía, riego, suministro de agua potable, control de avenidas, navegación). Sin embargo, en la realidad esto no se hace; en la gran mayoría de los estudios se ignoran los daños asociados a cada propósito, por lo tanto se subestiman los impactos (Gagnon, *et al.*, 2002).

Las externalidades identificadas por la Comunidad Europa (1995a), para un proyecto hidroeléctrico son las siguientes: los accidentes durante la operación y construcción de la central hidroeléctrica, las pérdidas en la agricultura por cambio en el uso del suelo, por ejemplo, a la inundación de áreas de cultivos; pérdidas de la producción del bosque debido también a la inundación del área; pérdidas acuáticas debido a los problemas asociados al cambio en el uso del suelo, y tráfico terrestre; pérdidas de caza; pérdidas del patrimonio cultural, por ejemplo, pérdida de sitios arqueológicos tales como cementerios; pérdida de biodiversidad debido al daño ocasionado en ecosistemas terrestres y acuáticos. Las centrales hidráulicas se asocian con un daño ambiental menor, comparada con las centrales termoeléctricas. El potencial de daños más significativos en las centrales hidroeléctricas está relacionado con los daños a ecosistemas naturales y actividades recreativas como la pesca y caza, y al desplazamiento involuntario de poblaciones afectadas por el proyecto especialmente minorías étnicas, lejos de sus lugares ancestrales (Diakoulaki, *et al.*, 2000), (Varela, *et al.*, 2002). El anexo B muestra una clasificación de ejemplos de externalidad por fuente convencional de generación eléctrica.

3. INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica, a través de fuentes convencionales (fósil y nuclear) y algunas renovables como la hidroelectricidad, causa daños a una gran variedad de receptores, por ejemplo, pérdida de la productividad en las cosechas, daños ocasionados al medio ambiente por cambios climáticos, daños a la flora y fauna salvaje y acuática, enfermedades crónicas respiratorias, reubicación de poblaciones afectadas por un proyecto hidroeléctrico, contaminación radiactiva que ocasiona daños irreversibles a la población tales como cáncer y daños genéticos a futuras generaciones, entre otros, expuestos en el capítulo dos.

La evaluación económica de los daños señalados anteriormente no se toma en cuenta en el momento de calcular el precio final de la energía eléctrica. En otras palabras, el mecanismo de precios del mercado no refleja la externalidad relacionada con el uso de tecnologías energéticas. Por lo tanto, la estimación de la externalidad es importante para incorporarlos en el precio de la electricidad, y de esta manera facilitar la comparación con otras opciones energéticas favorables. En este sentido, es necesario contabilizar todos los costos incorporados a cada tecnología en particular, los costos privados y los costos sociales (costo de capital, costo de operación y mantenimiento, costo del combustible y costo externo o externalidad).

En este contexto, las externalidades son externas al mercado, lo que a su vez hace que la asignación de recursos no sea la óptima; en otras palabras, los daños ocasionados al medio ambiente y a la sociedad no se reflejan en el precio del mercado, lo que impide una competencia real y un buen funcionamiento del mercado. Para corregir esta falla del mercado, la externalidad debe ser incorporada en el precio. Para ello se requiere la cuantificación de los daños en términos monetarios (Söderholm, *et al.*, 2003).

La cuantificación monetaria de los daños se expresa en términos de USD/ton de emisión o en cents/kWh de electricidad (Bloustein, 2004). La estimación de la externalidad representa el valor impuesto para la sociedad, que no está contemplado en la estructura de costos.

En tal sentido, diversos métodos de valoración de externalidades se han propuesto. Estos métodos han sido diseñados para asignar un valor monetario a los daños ocasionados al medio ambiente y a la sociedad debido a la producción de electricidad. Así mismo la valoración de la externalidad es importante para la toma de decisiones energéticas y para que el Estado establezca estrategias en el sector eléctrico.

Por otra parte, en las dos últimas décadas, ha existido un notable interés, tanto de los encargados de planear las políticas energéticas, como de los investigadores, en cuanto a la valoración de las externalidades que resultan en la producción de electricidad, dando como resultado diferentes métodos, para estimar la externalidad. En este capítulo se describen los métodos y técnicas de valoración ambiental actualmente disponibles y aplicables a distintos recursos y bienes ambientales, así como el alcance en la aplicación.

Los métodos y técnicas de valoración económica pueden clasificarse de acuerdo a las características del mercado en dos categorías. 1) Mercado real en el que se puede observar el comportamiento del individuo. 2) Mercado artificial es aquel en el que el comportamiento del individuo es hipotético. La valoración es más subjetiva cuando no se toma en cuenta el comportamiento del individuo en el mercado real. Por lo tanto es mejor utilizar las técnicas y métodos que toman como referencia el mercado real u observado, y no en aquellos que se basan en el comportamiento hipotético en un mercado no observado. Estos a su vez se subdividen en métodos directos y métodos indirectos.

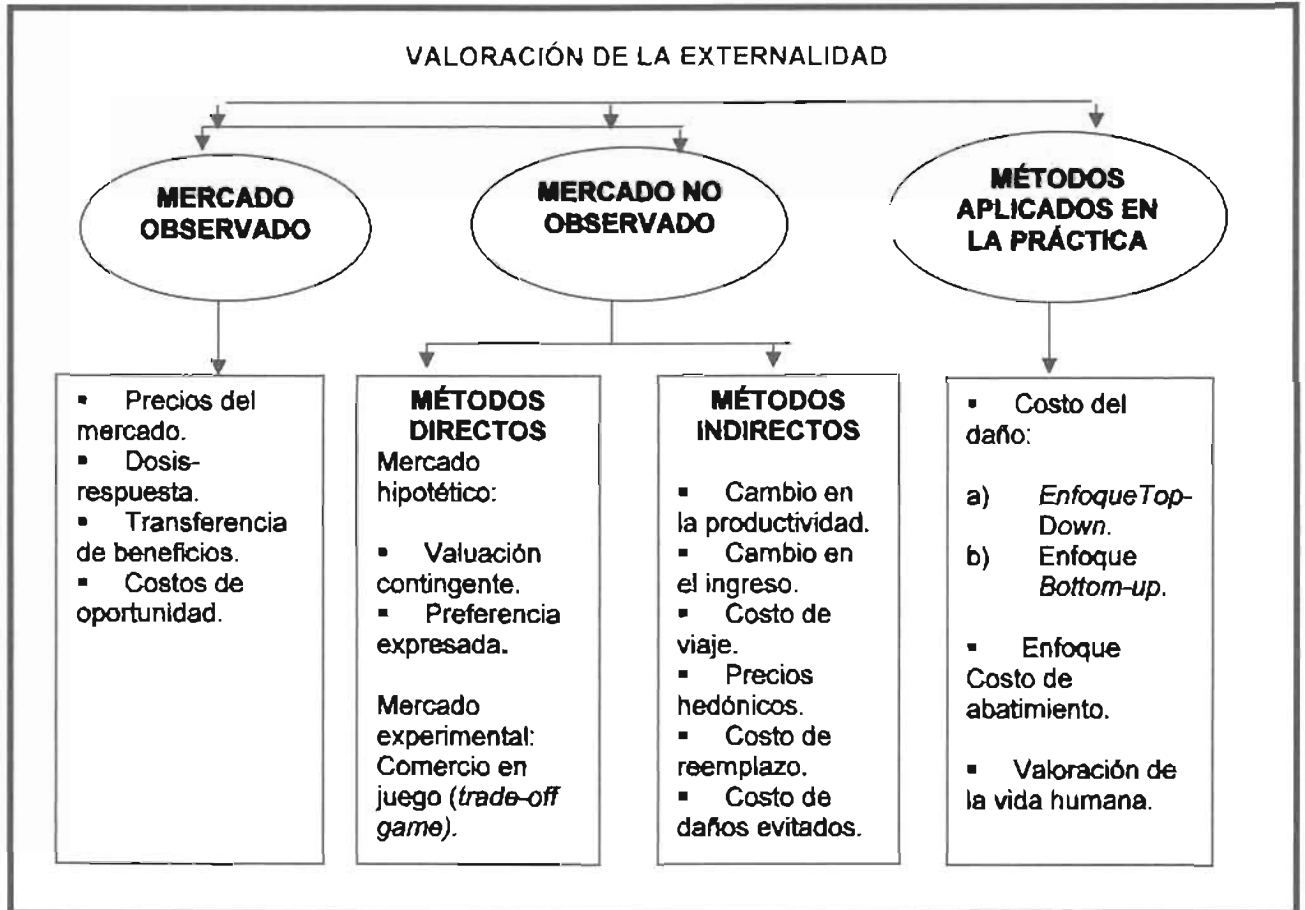


Figura 3. Categorización de métodos y técnicas para valorar cuantitativamente las externalidades en la generación eléctrica.

3.1 Técnicas y métodos de valoración económica de externalidades en la generación eléctrica en un mercado no observado

La importancia de cuantificar y monetarizar los daños medio ambientales requiere hacer uso de métodos existentes en un mercado no observado. Dichos métodos se subdividen en métodos directos y métodos indirectos, que se presentan a continuación.

3.1.1 Métodos Directos

Los métodos directos se subdividen en: mercado hipotético y mercado experimental. Figura 3.1. El mercado hipotético funciona a través de cuestionarios aplicados directamente al segmento de población de interés para la investigación. Se pregunta cuánto está dispuesto a pagar *willingness to pay* (WTP)¹⁹ o cuánto está dispuesto a aceptar *willingness to accept* (WTA)²⁰ una compensación o retribución monetaria. Las técnicas relacionadas bajo este enfoque son las siguientes:

- **Valoración contingente**

La finalidad de este método consiste en saber la percepción de la población sobre un bien o servicio ambiental por medio de un cuestionario. En este se pregunta directamente a las personas cuánto estarían dispuestas a pagar (WTP) por un servicio ambiental específico, o en algunos casos la pregunta sería cuál es la compensación que estarían dispuestos a aceptar (WTA), por renunciar a un bien o servicio ambiental. Se le llama valoración contingente porque de forma directa se pregunta a las personas cuál es su disponibilidad a pagar o aceptar una retribución por un bien ambiental con base en la contingencia o eventualidad en un escenario hipotético. Así por ejemplo, ¿cuánto estaría dispuesto a pagar por reducir la contaminación o cuánto estaría dispuesto a aceptar por un aumento en la contaminación? La técnica hace uso de preguntas directas individuales, acerca de los bienes y servicios que no se pueden comprar ni vender en el mercado. Por ejemplo, estudios realizados por (Ottinger, *et al.*, 1990), utiliza el método de evaluación contingente para evaluar un día de pesca por medio de la disposición hipotética a pagar. ¿Cuánto dinero estaría dispuesto a pagar para disfrutar durante

¹⁹ Se entiende por *willingness to pay* (WTP) la cantidad de dinero que un individuo estaría dispuesto a pagar para adquirir los derechos de propiedad de un bien o servicio ambiental. De esta manera lograría obtener una mejor calidad y cantidad de dichos bienes.

²⁰ Se entiende por *willingness to accept* (WTA) la cantidad de dinero que un individuo estaría dispuesto a aceptar por abandonar los derechos de propiedad de un bien o servicio ambiental. Se lleva a cabo en mercado reales o hipotéticos que afectan su bienestar y calidad de vida.

un año de su actividad preferida, antes de tomar la decisión de desistir a esta actividad porque es demasiado costosa? Igualmente, la Comunidad Europea utiliza la valoración contingente en un proyecto hidroeléctrico para estimar el valor del daño ocasionado a sitios de interés arqueológico y también por la pérdida de un paisaje agradable (Sundqvist, 2000); (Söderholm, *et al.*, 2003). De igual modo, la valoración contingente se utiliza para estimar el precio del ruido que ocasiona las turbinas de viento (Schleisner, 2005).

De acuerdo con Office of Technology Assessment (OTA, 1994), la técnica de valoración contingente ha sido aceptada universalmente. Sin embargo, presenta muchas críticas, una de ellas es la forma como son formuladas las preguntas y el orden de las mismas. También, se sustenta en que los resultados no son consistentes con los principios básicos de la teoría económica. Los economistas esperan que la población esté dispuesta a pagar por un bien o a pagar más de acuerdo al número de bienes, así como aumentan las cantidades, pero al aplicar el cuestionario los encuestados no se comportan como la economía espera. Por ejemplo, la disposición a pagar (WTP), por evitar que 2000 pájaros migratorios mueran, es igual la cantidad de dinero a la que estaría dispuesta la población a pagar si incrementa el número de muerte de pájaros a 20.000 o 200.000. Otra crítica se argumenta que los resultados de la valoración contingente deberían solamente divulgarse a raíz de la implicación en los daños medio ambientales. Por lo tanto, esta metodología puede generar controversia, debido a que la población puede responder, sin ningún criterio de lo que realmente harían. Además, es de cuidado la interpretación de los resultados. Esta técnica ha sido utilizada para evaluar los daños potenciales a los bosques, fauna silvestre, debido al desarrollo de un proyecto hidroeléctrico, y para evaluar los daños por visibilidad ocasionados por el ciclo del combustible relacionado al carbón y gas natural.

- **Preferencia Expresada (Stated Preference)**

Los encuestados ponen de manifiesto su preferencia mediante una clasificación de preferencias dadas por la población. Las respuestas son en orden de preferencias de acuerdo a varias alternativas de selección: Cuánto está dispuesta la población a pagar por evitar el daño (WTP), o cuanto está dispuesta a aceptar como compensación (WTA) por el daño ocasionado al medio ambiente. Tales alternativas incluyen el valor de los daños externos y los valores sustitutos para esos daños y una alternativa con un valor conocido denominado (umbral óptimo). Los resultados se clasifican y se interpretan de acuerdo con el valor conocido. Además permiten la comparación entre bienes y servicios comerciables y no comerciables (Sundqvist, 2000). Este método supone que entre las opciones que se presentan, se incorpora la preferencia de la población para el control de la contaminación. El costo de las opciones para controlar la contaminación según las preferencias de la población indica cuánto está dispuesta la población a pagar por reducir la contaminación (WTP). Por ejemplo, en el año 1990 se realizó en Estados Unidos un estudio con la finalidad de conocer las preferencias de la población, en cuanto a la reducción de emisiones de dióxido de azufre SO₂ cuyo valor conocido o umbral óptimo fue de 2.5 USD/lb, otras alternativas presentadas fueron la conservación la energía, fuentes renovables, las cuales representaron un costo equivalente al umbral óptimo (Chernick, *et al.*, 1990).

- **Mercado Experimental**

Se utilizan los mercados experimentales cuando los encuestados llevan a cabo las transacciones en un mercado simulado establecido por los investigadores; para cuantificar los bienes o servicios ambientales en un mercado no observado. Por ejemplo, la compra y venta de bienes no comerciables, tales como el aire que respiramos. El encuestado tiene dos alternativas para elegir la respuesta. La selección de la alternativa es estimada en términos monetarios y se establece en la disposición a pagar o a aceptar una compensación (WTP/WTA). Un ejemplo, es

la técnica *Trade off- games*. Esta técnica consiste en que se le ofrece a los encuestados dos alternativas y se les pide que seleccionen una de las dos. Las alternativas son definidas en términos de los resultados y se diferencian en el nivel de preferencia, uno de ellos será monetario. Los resultados monetarios de la alternativa elegida se establece de acuerdo a la disposición a pagar (WTP) o la disposición a aceptar (WTA), (Sundquist, 2000).

3.1.2 Métodos Indirectos

En cuanto a las técnicas relacionadas con el método indirecto, toman como base el comportamiento actual de individuo o en algunos casos es posible tomar como referencia las observaciones del mercado (Söderholm, *et al.*, 2003), por ejemplo, una comparación entre el costo actual y el ingreso. Cualquier efecto externo representa un cambio en el costo o en el ingreso en un mercado observable o en un mercado ampliamente relacionado con el recurso que es afectado por la externalidad. Por ejemplo, un cambio en la productividad agrícola causada por la externalidad puede ser usada para medir ese efecto, tales como daños a las cosechas. Así mismo, los daños a la salud humana producto de la contaminación del aire, pueden ser valorados por un cambio en el ingreso. El efecto externo se ve reflejado por la pérdida de días de trabajo, por lo tanto se disminuye el ingreso debido a los gastos médicos, hospitalización y medicinas. La técnica de cambio en el ingreso es aplicada en la situación en que un cambio en la disponibilidad, cantidad o calidad de una actividad, es directamente observable como resultado de una externalidad (Sundquist, 2000).

▪ Precios Hedónicos

Esta técnica se utiliza para estimar el valor económico de los bienes o servicios ambientales que afecta directamente a los precios del mercado. Se realiza un sondeo de los precios existentes en el mercado y de este modo, se establece el precio de los bienes y servicios que no tienen valor en el mercado que se analiza.

El bien o servicio se evalúa de acuerdo a las características que posee, incluyendo las ambientales, tales como, estimar el valor estético de un área para la recreación, contaminación del aire, ruido, agua, visibilidad. Algunos ejemplos son los siguientes: en un proyecto hidroeléctrico, los cazadores de venado se desplazan al sitio para valorar la pérdida de venado debido a la construcción del embalse. Otra aplicación de esta técnica es comparando los salarios de los trabajadores expuestos a un accidente laboral durante el transporte y operación de una central eléctrica, con los trabajadores que no están expuestos a este tipo de riesgos. La diferencia en el salario es una estimación del valor del riesgo de accidente, asumiendo que todos los otros factores son iguales. El problema de los precios hedónicos es asegurar que todos los otros factores son iguales. Una desventaja de esta técnica, es que los precios no reflejan exactamente como valora la población los efectos ambientales (OTA, 1994); (Sundquist, 2000); (Scheleisner, 2005).

▪ Costo de Viaje

La técnica valora el servicio o bien ambiental, mediante una visita a un lugar recreativo, histórico o cultural, los beneficios económicos que el lugar proporciona, por ejemplo, cambios en la calidad ambiental o valor de uso recreativo del lugar. Generalmente, estos servicios son producidos y consumidos en el sitio, lo cual implica que quien desee disfrutar de ellos debe desplazarse al lugar, además representa un costo monetario y de tiempo (costo del transporte, costo de entrada al lugar, tiempo utilizado, salario sacrificado por días laborales perdidos por visitar el lugar). El costo del viaje se estima por la disposición a pagar (WTP) de las personas que visitan el lugar. Esta técnica puede ser utilizada para proyectos hidroeléctricos; las personas que viajan al lugar pueden percibir beneficios externos, tales como un ambiente agradable para la recreación, por ejemplo, deportes acuáticos, navegación y pesca (Sundquist, 2000).

▪ **Costo de reemplazo**

Esta técnica estima el costo de reemplazar el recurso, bien o servicio que es afectado o de proveer un sustituto. Por ejemplo, el costo de reemplazar, la pérdida de nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, en tierras aptas para la agricultura, por nutrientes existentes en el mercado. También, se puede calcular el costo de reemplazo para los daños ocasionados a las construcciones arquitectónicas que han sido afectadas por la lluvia ácida. La población expresa mediante la disposición a pagar (WTP), por el beneficio que se obtiene al reducir el daño ambiental (Bojő, *et al.*, 1992); (Sundquist, 2000). Por ejemplo, esta técnica fue utilizada por la Comunidad Europea para estimar la externalidad a la agricultura por área de tierra pérdida para pastoreo, debido a la construcción de una central hidroeléctrica, la estimación fue de 0.014-0.0015 UScents/kWh. También, se evaluó la externalidad por reducción en el flujo de agua para abastecimiento de la población, durante la operación de la central hidroeléctrica, la estimación fue de 0.00048-0.00189 US cents/kWh (Comunidad Europea, 1995f).

▪ **Costos de daños evitados**

Hace referencia a cuánto está dispuesta la población a pagar (WTP), por evitar el daño. La disponibilidad a pagar dependerá siempre y cuando los beneficios por prevenir el daño medio ambiental excedan los costos para prevenirlo, en otras palabras, si los costos de evitar los daños son mayores que los beneficios se esperaría que la población no esté dispuesta a pagarlos (Sundquist, 2000) , por ejemplo, evaluar el mejoramiento de la calidad del aire, midiendo el costo de reducir las emisiones de contaminantes producidas durante la combustión de combustibles fósiles, mediante la implementación de tecnologías de desulfuración.

3.2 Técnicas para estimar los bienes y servicios medio ambientales en mercado observado

▪ Precios del Mercado

Se utiliza para valorar económicamente los productos o servicios ambientales que pueden ser comprados o vendidos en mercados comerciales. En algunos casos la producción de energía afecta algunos bienes que se compran y se venden en un mercado. Por ejemplo, el estudio realizado por (Ottinger, et al., 1990), utiliza los precios del mercado para evaluar los daños ocasionados tales como corrosión en construcciones arquitectónicas debido a la lluvia ácida. También, utiliza esta técnica para estimar los daños materiales que se pueden presentar en un evento, por ejemplo falla del reactor en una central nuclear. Según Krewitt, et al (1998), en algunas ciudades alrededor de Europa tales como Estocolmo, Praga, Birmingham, Dortmund, Sarpsborg, se ha aplicado esta técnica en un área seleccionada para identificar los daños a edificios y a diversos tipos de materiales de construcción debido a la deposición ácida. Cabe mencionar que la técnica también se puede aplicar para evaluar los daños ocasionados a las cosechas. La principal limitación de esta técnica es que no todos los daños medio ambientales de la energía se pueden comprar y vender en el mercado. Por ejemplo, el valor de la visibilidad, el valor de los daños a la salud (OTA, 1994). Esta técnica fue utilizada por la Comunidad Europea, para estimar la externalidad por silvicultura a causa de la construcción de un proyecto hidroeléctrico, la valoración fue de 0.00001-0.00006 US/kWh (Comunidad europea, 1995f).

▪ Transferencia de beneficios

Esta técnica no implica realizar ninguna valoración. Utiliza datos de resultados de estudios previos con su respectiva valoración en términos monetarios de las externalidades en estudio. La aplicación de esta técnica es de utilidad cuando la investigación es muy costosa o cuando el tiempo disponible es corto para realizar un estudio original. Una desventaja que presenta es que los resultados están en

función de los estudios originales (Sundquist, 2000). Por ejemplo, estudios realizados en Sub-Africa, estima el valor de riesgo de vida, utilizando la técnica transferencia de beneficios de estudios realizados en Europa y Estados Unidos. Así mismo presenta inconsistencias dado que las condiciones socioeconómicas del país son diferentes. Por ejemplo, en Sub-Africa el nivel de ingreso es muy bajo, comparado con Europa y Estados Unidos (Spalding, et al., 2003).

▪ **Función dosis-respuesta**

El término dosis-respuesta se define como la respuesta a la exposición de un contaminante dado en términos de la concentración atmosférica. La contaminación (dosis), y el daño ocasionado (respuesta). La estimación del daño se realiza en el mercado, o por medio de un precio sombra²¹. La aplicación de este método a veces es compleja, en cuanto a identificar los efectos positivos y negativos que ocasionan los contaminantes en un receptor. En la agricultura, por ejemplo se pueden identificar los daños ocasionados por contaminantes estimando la pérdida de cultivos, pero, identificar que estos mismos contaminantes producen beneficios es difícil de estimar. Un ejemplo, son las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), y óxidos de nitrógeno (NO_x), los cuales ocasionan daño a los cultivos, pero, identificar que estos contaminantes actúan como fertilizantes en los cultivos es complejo. La principal limitación de la función dosis-respuesta, es que se supone que se puede transferir los valores de un contexto a otro contexto. Así por ejemplo, estudios realizados en Europa para estimar los daños a la salud ocasionados por contaminantes atmosféricos se basan en estudios realizados en Estados Unidos, sin tomar en cuenta que las condiciones de un país son diferentes, tales como densidad de población, características de la población afectada, los contaminantes exactos a los que fueron expuestos el grupo de estudio, entre otros (Sundquist, 2000); (Schleisner, 2005).

²¹ Se entiende por precio sombra, el precio de referencia que se establecería para cualquier bien, en condiciones de competencia perfecta. Cuando un bien o servicio no tiene un precio en el mercado, puede asignársele un precio sombra, para de esta forma facilitar el análisis costo-beneficio.

- **Costo de Oportunidad**

Es el valor del beneficio del bien o servicio ambiental al que debe renunciarse como resultado de la selección de producir consumir o intercambiar un bien o servicio económico. También puede ser utilizado para cuantificar las externalidades. La técnica no evalúa los beneficios directamente, pero, sí es una herramienta que sirve para evaluar los beneficios de una actividad que causa daño al medio ambiente. De este modo, mediante un mecanismo del mercado se puede establecer los beneficios medio ambientales que se tendrían a causa del desarrollo, los cuales no valdrían la pena comparados con los que el medio ambiente natural brinda. Por ejemplo, cambio en el uso del suelo, renunciar a tierras aptas para la agricultura a cambio de la construcción de un embalse (Ottinger, *et al.*, 1990); (Pearce, 1993).

- **Valoración de la vida Humana**

El valor de la vida humana es un dilema ético; por lo tanto es difícil de cuantificar en términos monetarios. Aunque, a través del tiempo se han propuesto métodos, tales como estimar el riesgo a la salud humana. El valor de riesgo a la salud humana es estimado por la sociedad de acuerdo a la disposición de pagar por reducir el riesgo (WTP) de muerte o la disposición de aceptar (WTA) una compensación por aceptar el riesgo. Se puede obtener mediante tres técnicas: 1) riesgo de salario, 2) valoración contingente, 3) encuestas sobre el mercado del consumidor. Con la estimación de WTP/WTA se obtiene el valor estadístico de la vida (VSL), en estudios de externalidades. Establecer un valor a la vida humana y a la salud es infinito. Sin embargo, a través del valor presente neto se puede obtener un resultado tangible del deterioro en la salud humana, mediante la pérdida de ingresos para el individuo, el cual se refleja por la disminución de la capacidad productiva valorada por la sociedad, tales como, pérdida de días laborales, disminución del ingreso por gastos médicos y tratamiento. Cuando los trabajadores están dispuestos a aceptar el riesgo a cambio de un mayor salario, o

a aceptar una póliza de seguro de vida por el alto riesgo de muerte o accidente laboral, que pueda presentarse, por ejemplo durante la explotación minera del carbón, falla del reactor en una central nuclear, o durante la construcción de una central hidroeléctrica, el costo externo de este modo ya está internalizado en los precios del mercado, en este caso ya no representa una externalidad (Bojö, *et al.*, 1992); (Goodstein, 1995); (Scheleisner, 2005).

Por otra parte, el estudio realizado por (Rowe, *et al.*, 1995) en el Instituto Tellus en Boston, aplicó el modelo computacional o software EXMOD²², para estimar las externalidades a la salud pública y muerte prematura por emisiones de contaminantes atmosféricos, debido a la combustión de carbón en una central eléctrica con capacidad de 300 MW, ubicada en la capital de New York, en un sitio suburbano fuera de Albany, en Estados Unidos. Para el caso de Europa se utilizó el software EcoSence²³ para una central eléctrica ubicada en la ciudad de Roskilde Dinamarca, con las mismas características de la central eléctrica ubicada en Estados Unidos. La externalidad por muerte debido a las emisiones de (NO_x, PM₁₀, SO₂, O₃), en personas menores de 65 años y más, fue de 0.00178 USD/kWh²⁴, aplicando el modelo EXMOD y de 0.00211USD/KWh utilizando el modelo EcoSence. Como se puede apreciar, la estimación de la externalidad para Europa representa el valor más alto comparado con Estados Unidos, la diferencia entre los dos modelos refleja los diferentes daños considerados a la salud en cada estudio. Por ejemplo, el Estudio EcoSence estima el daño a la salud por bronquitis

²² EXMOD, es un software desarrollado por el Instituto Tellus en Boston, para calcular las emisiones, los daños asociados a la salud pública, y las externalidades involucradas en una tecnología en particular, por ejemplo daños en las cosechas por O₃.

²³ EcoSence es un software, utilizado por la comunidad Europea dentro del proyecto *ExternE*, para estimar las externalidades a la salud pública por morbilidad y mortalidad. Se basa en la metodología vías de impacto la cual requiere datos técnicos de la tecnología a evaluar, capacidad de la central eléctrica, emisiones, altura y diámetro de la chimenea, elevación promedio del terreno y datos meteorológicos, tales como velocidad y dirección de los vientos, temperatura ambiente, entre otros requeridos por los modelos de dispersión de contaminantes. También permite estimar las externalidades a las cosechas ocasionado por contaminantes atmosféricos SO₂, NO_x.

²⁴ En este análisis todos los valores de la externalidad encontrados en la literatura científica internacional en diferente moneda han sido llevados a valor presente USD 1997, con la finalidad de facilitar la interpretación de los resultados.

en adultos y niños, tos asmática en adultos y niños, tos crónica en niños, síntomas menores respiratorios en adultos y niños, entre otros. En el estudio EXMOD la clasificación de daños a la salud son menores comparados con EcoSence. El modelo EcoSence incluye mortalidad aguda²⁵ y mortalidad crónica²⁶, en el modelo EXMOD, únicamente se incluye mortalidad aguda. Por esta razón la estimación de la externalidades para la variable por muerte es más grande utilizando el modelo EcoSence. También se presentan diferencias en el valor monetario para las emisiones. Por ejemplo, para el contaminante NO_x, la estimación de la externalidad con el modelo EcoSence fue de 0.00057 USD/kWh, y utilizando el modelo EXMOD la estimación de la externalidad fue de 0.00071 USD/kWh. En cuanto a las diferencias en la función dosis-respuesta, en el modelo EXMOD, la función dosis-respuesta está asociada con los días en que el individuo presenta el síntoma respiratorio, el cual toma como referencia la población total. Con el modelo EcoSence la función dosis-respuesta está relacionada con el segmento de la población asmática únicamente, la cual representa el 35% del total. Además, ambos estudios presentan diferencias en la dispersión de contaminantes y en los daños asociados a las emisiones, diferencias en la localización de la central eléctrica y en la densidad de población (Scheleisner, 2000).

Por otra parte, a pesar que los estudios EcoSence y EXMOD, usan una metodología similar, los resultados difieren en muchos factores como se mencionó anteriormente, por lo tanto la estimación de la externalidad por mortalidad²⁷ y morbilidad²⁸ ha sido sujeta a incertidumbre. En el estudio realizado por la Comunidad Europea (1995a) usando el modelo EcoSence, el valor estadístico de

²⁵ Se entiende por mortalidad aguda cuando el individuo muere por un daño específico originado por la contaminación.

²⁶ Se entiende por mortalidad crónica cuando el individuo muere a causa de la exposición a contaminantes durante varios años.

²⁷ Se entiende por mortalidad en este caso la muerte ocasionada por los contaminantes atmosféricos. De esta manera se estima la externalidad por mortalidad.

²⁸ Se entiende por morbilidad todos los casos de enfermedades respiratorias tales como bronquitis en niños y adultos, asma, alergia, ocasionada por la contaminación del aire. La externalidad asociada a morbilidad incluye todas las enfermedades respiratorias además, pérdida de días laborales y número de visitas a centros hospitalarios.

vida (VSL), fue multiplicado por el número de muertes prematuras a causa de la contaminación del aire. Sin embargo, en estudios más recientes el método ha sido tomado a consideración nuevamente (Comunidad Europea, 1998a). Por otro lado, la estimación de los años de vida perdidos (YOLL), o reducción en la esperanza de vida fue utilizada para estimar la externalidad por mortalidad ocasionada por enfermedades asociadas a la contaminación del aire, donde el riesgo de enfermedad tiene un valor significativo antes de la muerte. La externalidad con base en el método del valor de años perdidos de vida (YOLL) resulta ser baja, comparada con la estimación de la externalidad utilizando el método (VSL), (Karlsson, *et al.*, 2003).

Como se puede apreciar, la exposición a la contaminación del aire, ocasionada por la emisión de contaminantes, afecta la salud de la población en general, ocasionando daños irreversibles como la muerte prematura. De ahí surge el interés de la Comunidad Científica Internacional, de estimar las externalidades a la salud, en particular aquellas asociadas a la generación eléctrica. Estudios realizados por Hohmeyer, *et al* (1988); Chernick, *et al* (1989); Bernow, *et al* (1990); Ottinger *et al* (1990); Nocker, *et al* (1999); Comunidad Europea (1995a); Söderholm, *et al* (2003); han estimado los daños a la salud humana, debido a emisiones de SO₂, CO₂, NO_x, CH₄, PM, por ejemplo, disminución de la visibilidad, por emisiones de dióxido de azufre SO₂. Hohmeyer (1988), reporta daños debido a la disminución de la visibilidad, con base en la estimación dada por Euler (1994). De acuerdo con Euler el total de las externalidades asociadas a todos los contaminantes representa 67 millones de USD/ kwh, de los cuales 40 millones corresponde a la externalidad por emisiones de SO₂ durante la quema del carbón, los restantes 27 millones USD/KWh corresponden a los daños debido a otros contaminantes. Los daños ocasionados a la salud pública estimados por la Comunidad Europea (1995) están relacionados con partículas, ozono, accidentes de transporte y muerte. En cuanto a los accidentes laborales, estos se pueden presentar en todas las fases del ciclo del combustible, generalmente, durante la extracción del combustible y transporte. Según, Nocker *et al* (1999) la externalidad más significativa a la salud es la muerte, la cual debido a las emisiones de

partículas, sulfatos y nitratos; representa más del 80% de las externalidades estimadas a la salud para Bélgica. Las diferencias en cuanto al valor de la externalidad, varían de acuerdo al método utilizado para estimar las emisiones, a las condiciones químicas de la atmósfera y a los modelos de dispersión usados. Así mismo, los daños a la salud humana, se pueden presentar en el corto plazo, como lesiones durante la explotación del combustible o en la construcción de la central. A largo plazo, están asociadas las enfermedades crónicas respiratorias, cáncer, y daños genéticos (Hohmeyer, 1992), (Hohmeyer, *et al.*, 1997).

▪ **Tasa de descuento**

La tasa de descuento es el precio en el tiempo, se utiliza para comparar los costos futuros respecto a los costos actuales y se relaciona principalmente con la abundancia o escasez de capital y al riesgo de realizar la inversión. En otras palabras, el descuento es el análisis en el cual se pondera los daños futuros respecto a los presentes. Es un parámetro, que sirve para comparar resultados de diferentes estudios. En este sentido, fijar una tasa de descuento es discutible por analistas económicos. Por ejemplo, la tasa de descuento para valorar inversiones de capital en empresas de generación eléctrica es de 6% a 8%; esto proporciona una base consistente para la toma de decisión para este tipo de inversiones, pero también tiene el efecto de reducir el valor de los daños que pueda ocurrir a muy largo plazo a prácticamente 0%, por ejemplo, daños por calentamiento global, almacenamiento de desechos radiactivos. Las tasas de descuento bajas tienen la ventaja de considerar a las generaciones futuras igual a la nuestra, pero también puede suceder que daños a corto plazo relativamente ciertos sean ignorados para favorecer daños a muy largo plazo los cuales son muy inciertos. La tasa de descuento se ha utilizado para estimar los daños a un futuro muy lejano al periodo base, esto no ha sido muy conveniente en el momento de estimar los daños, ya que los daños por calentamiento global sucederían en el muy largo plazo y el costo de mitigación ocurre en el presente. Sin embargo, los avances en ciencia y tecnología a lo mejor logren contrarrestar dichos daños, los cuales favorecerían a las generaciones futuras contrarrestando dichos daños de una manera fácil y

económica. La tasa de descuento para mortalidad y morbilidad es de cero 0% por el dilema ético de fijar un valor a la vida humana (Schelaisner, 2005).

3.3 Métodos utilizados en la práctica

De acuerdo con (Söderholm, *et al.*, 2003), en la práctica los métodos más usuales para determinar el valor de la externalidad con relación a la generación eléctrica son los siguientes:

3.3.1 Aproximación al costo de abatimiento

Se define como el costo de controlar o disminuir el daño; o el costo de cumplir con las regulaciones ambientales como un valor implícito del daño evitado. El Estado, toma en consideración la preferencia de la población para establecer cambios en las políticas ambientales. La población expresa la disposición a pagar (WTP) por reducir el daño y los principales costos de mitigación para fijar el estándar. De esta manera, se determina el valor del daño (Söderholm, *et al.*, 2003). El costo de abatimiento únicamente representa el costo del daño o la externalidad cuando se deriva de estrategias de control (Joskow, 1992). De acuerdo con Sundqvist (2004), los siguientes estudios realizados en Estados Unidos han utilizado este método para diversos combustibles. De esta manera, según Shuman *et al* (1982), la externalidad para el carbón fue de 0.06-44.07 UScents/kWh, para nuclear 0.11-64.45 UScents/kWh. En el estudio realizado por Chernick *et al* (1989), la externalidad para el combustóleo fue de 4.87-7.86 US cents/kWh, para el gas natural 1.75-2.62 UScents/kWh y para el carbón 5.57-12.45 UScents/kWh. En el estudio realizado por Bernow, *et al* (1990) y Bernow, *et al* (1991), la externalidad para el combustóleo fue de 4.40-12.89 UScents/kWh y para el gas natural 2.10-7.89 UScents/kWh. En el estudio realizado por Hall (1990), para la energía nuclear la externalidad fue de 2.37-3.37 UScents/kWh. En el estudio realizado por Putta (1991) para el carbón la externalidad fue de 1.75 UScents/kWh. En el estudio realizado por Cifuentes *et al* (1993), la estimación para el carbón fue de 2.17-20.67 UScents/kWh. Finalmente, en el estudio realizado por Parfomak (1997), la externalidad para el gas natural fue de 0.03-0.04 UScents/kWh. Como se puede

apreciar, todos los estudios utilizaron el mismo método de aproximación al costo de abatimiento e igualmente fueron aplicados para el mismo país de Estados Unidos. Sin embargo, la valoración de la externalidad presenta incertidumbre por las discrepancias en los resultados. Además, los rangos de valores son muy altos por ejemplo, en el estudio realizado por Shuman *et al* (1982), la externalidad para el carbón fue de 0.66-44.07 UScents/kWh e igualmente, se presenta esta situación para el combustible nuclear. En general, la investigación realizada por los diversos autores demuestra que la externalidad para el combustible gas natural y nuclear representa la externalidad más baja, comparada con los combustibles combustóleo y carbón. Esto se debe al tipo de combustible utilizado, a la localización de la central eléctrica, a las diferentes variables implícitas las cuales no dependen de una misma causa específica, también influye las características geográficas y de población.

Las discrepancias en los resultados también se deben a los problemas que se presentan con la aplicación del método, en cuanto a la dificultad en interpretar y emplear los resultados de estudios previos de externalidades.

Munksgaard, *et al* (1998) Realizó un estudio para Dinamarca, con un enfoque costo de abatimiento para el combustible carbón la externalidad por contaminante para el CO₂ fue de 0.03148- 0.04468 USD/kWh para el NO_x fue de 0.00172 USD/kWh y para el contaminante SO₂ se obtuvo un valor de 0.00172 USD/kWh. Respecto al combustible gas natural la externalidad por contaminante CO₂ fue de 0.01523- 0.02437 USD/kWh, para el NO_x se cálculo un valor de 0.00172 USD/kWh. De acuerdo a los tratados internacionales, Dinamarca tiene la obligación de reducir las emisiones de CO₂, NO_x, SO₂. En el año 1988 el nivel de emisiones de CO₂ fue de 60,000 ton y se espera que para el 2005 se pueda reducir un 20% 12,000 ton, por medio de sustitución de la electricidad generada a partir del carbón y de gas natural por electricidad de origen eólico.

3.3.2 Aproximación al costo del daño

Son medidas prácticas del costo del daño, desarrolladas en las dos últimas décadas. Se subdivide en dos principales categorías:

3.3.2.1 Aproximación al top-down

Es importante destacar que Hohmeyer (1988), fue pionero en aplicar y desarrollar el método *TOP- DOWN* (descendente), para evaluar externalidades ambientales a causa de la generación de energía eléctrica para la República Federal de Alemania, principalmente para centrales de energía fósil. El método *Top-Down* hace uso de datos altamente agregados para estimar el costo medio ambiental, en particular de contaminantes. Generalmente es un estudio a nivel macro en términos de la interdependencia entre el sector energía y el resto de la economía. Desarrollado a nivel nacional o regional usando estimaciones de cantidades totales de un contaminante específico (Figura 3.3.2.1). Las etapas de esta metodología son las siguientes: 1) se realiza un inventario de emisiones de CO, PM, NO_x, SO₂, VOC_s. 2) Se determina la importancia de las emisiones por factores de toxicidad relativa²⁹. 3) Estimación de la contribución de las centrales termoeléctricas convencionales al total de daños causados por esos contaminantes. 4) revisión en la literatura de los daños ocasionados por los contaminantes y extrapolación del valor para los daños a la flora, fauna, construcciones arquitectónicas, cambio climático y a la salud humana. 5) estimación del costo del daño por kWh de electricidad. Aunque, parece un método sencillo presenta desventajas. Por ejemplo, depende en su mayor parte de estimaciones y aproximaciones previas; no toma en cuenta los diferentes estados del ciclo del combustible y el sitio específico de los diferentes tipos de daños. De igual forma, no toma en cuenta las variaciones que se pueden presentar, por ejemplo en el ruido, en las emisiones, en el número de accidentes, entre otros.

²⁹ Se entiende por toxicidad la capacidad relativa de importancia o de no importancia que presenta un compuesto de ocasionar un daño mediante efectos biológicos adversos; una vez alcanzado un punto susceptible en el cuerpo. La toxicidad determina el riesgo, además de otros factores como la intensidad y la duración de la exposición, la volatilidad del compuesto y el tamaño de las partículas.

También, en el análisis no se considera la distribución de los receptores, por lo tanto no se puede identificar el daño asociado con una actividad dada; el daño casi siempre depende del sitio de la actividad y de la tecnología utilizada. Así mismo, los métodos usados para las estimaciones iniciales del daño han carecido de credibilidad, porque se han basado en poca información. Además, no hace uso de los últimos datos y de modelos disponibles. La evaluación carece de claridad con respecto a una gran variedad de factores. Igualmente, la aplicación del método presenta problemas cuando alguna estimación cuantitativa del daño ya se encuentra disponible. Algunos software son (*AIM, SGM, CRTM, FOSSIL 2*), (Hollan, 1994); (Comisión Europea, 1995a); (Pandey, 2002); (Sundqvist, *et al.*, 2002); (Scheleisner, 2005).

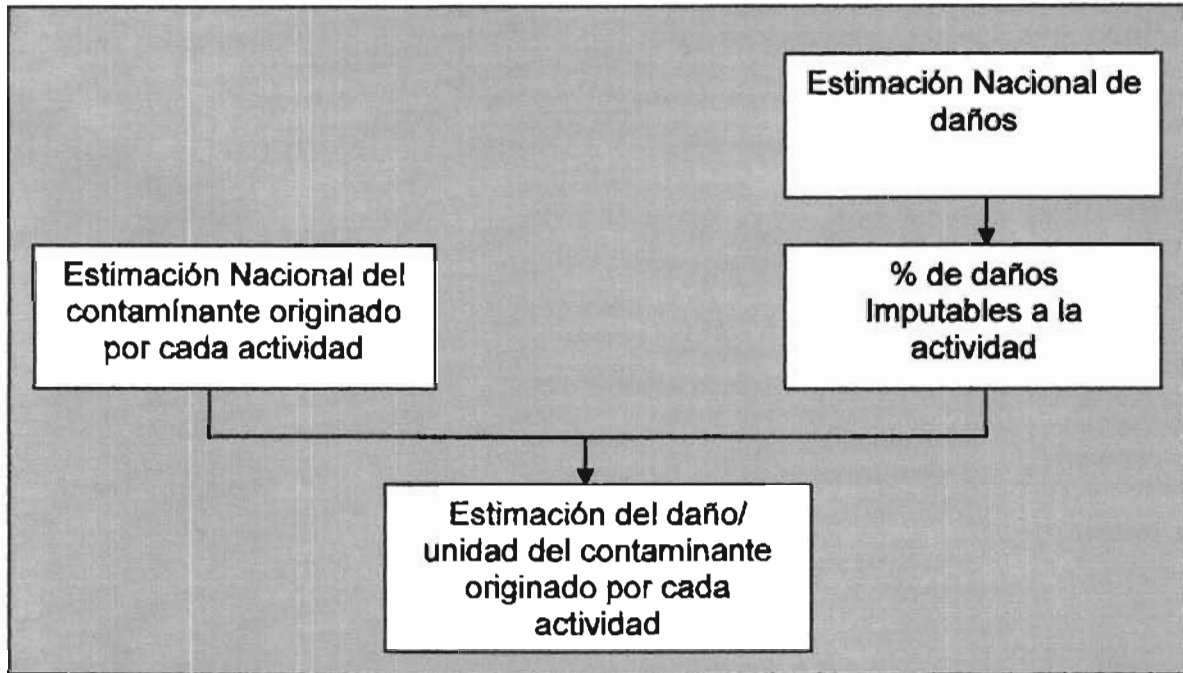


Figura 3.3.2.1 Aproximación *Top-Down*

3.3.2.2 Aproximación al *bottom-up*

En el año 1991, dio inicio el programa Joule³⁰ realizado por la Comunidad Europea, con la colaboración del Departamento de Energía de Estados Unidos (US-DOE), para la cuantificación de las externalidades de la generación eléctrica. Posteriormente, continuado únicamente por la Comunidad Europea, en el proyecto *ExternE*³¹. Actualmente, representa uno de los más ambiciosos proyectos reconocido internacionalmente para valorar los costos externos de las diferentes tecnologías energéticas (Nocker, *et al.*, 1999); (Söderholm, *et al.*, 2003).

³⁰ El programa Joule DG XII. Programa específico de investigación y desarrollo tecnológico. Su objetivo principal fue desarrollar y demostrar tecnologías más eficaces, limpias y seguras, que garanticen la compatibilidad entre la utilización de energía, el equilibrio de la biosfera y el desarrollo económico.

³¹ *ExternE*, (externalidades de la generación eléctrica).

El objetivo del estudio fue principalmente desarrollar una metodología para valorar las externalidades, asociadas a la producción y consumo de energía, para las diversas tecnologías de generación eléctrica (combustibles fósiles, nucleares y renovables), en cada uno de los países miembros de la Unión Europea, para centrales eléctricas individuales (Varela, *et al.*, 2002).

El modelo *ExternE* se basa en una metodología *Bottom-up* (ascendente) o ruta de impacto el cual es un análisis a nivel micro que permite utilizar los datos de las emisiones específicas producidas por una determinada tecnología y su respectiva localización. Además, requiere de modelos de dispersión atmosférica, así como una completa información de los receptores. Por medio de una función dosis-respuesta se determina los daños ocasionados, por ejemplo, daños a la salud, daños a las cosechas y finalmente estos daños son cuantificados en términos monetarios. Este método *Bottom-up*, permite ir desde la actividad que origina el daño, hasta su respectiva valoración económica y se fundamenta en las siguientes cuatro etapas Figura 3.3.2.2 (Comunidad Europea, 1995a); (Varela, *et al.*, 2002); (Nocker, *et al.*, 1999); (Martín del campo, 2003); (Scheleisner, 2005); (Turtós, 2003); (Bloustein, 2004).

1) Etapa: Identificación de la Central Eléctrica.



Características de la Central Eléctrica

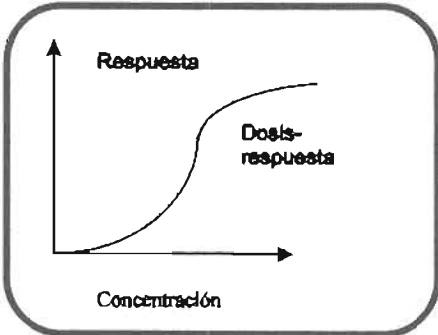
- Especificación del sitio (Urbana, rural).
- Tecnología utilizada.
- Tipo de chimenea.
- Inventario de emisiones. Por ejemplo, ton/año de SO₂.

2) Etapa: Dispersión de Contaminantes.



- Incremento de las concentraciones ambientales, (µg/SO₂ para todas las regiones afectadas).
- Dispersión local (50 Km).
- Dispersión regional (más de 50 Km).

3) Etapa: Evaluación del Daño.



- Salud pública: Enfermedades originadas por las concentraciones de SO₂.
- Cambios en la producción (pérdidas de cosechas).
- Daños a las construcciones arquitectónicas.
- Daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos.

4) Etapa: Evaluación Monetaria



Costo del daño: (Externalidad).
 Costo de determinada enfermedad.
 Costo de pérdidas productivas.
 Ej. (pérdida de la cosecha de determinado producto).

Figura 3.3.2.2. Principales etapas de la metodología ruta de impacto, (EXTERNE, Vol 2, 1995).

1) **Especificidad de la Fuente Emisora:** inicialmente se identifica la ubicación de la central eléctrica (urbana, rural), y las características físicas de la central, tales como diámetro y altura de la chimenea, temperatura ambiente, velocidad y flujo de los gases de escape, volumen de emisiones el cual depende de la tecnología y tipo de combustible utilizado. Finalmente se realiza un inventario de los contaminantes emitidos.

2) **Dispersión de contaminantes:** seguidamente que los contaminantes son emitidos a la atmósfera se dispersan. Cuando se dispersan cerca de 50 km comprende un área local, y cuando superan los 50 km es considerada un área regional. De acuerdo al área se utilizan modelos de dispersión, los cuales dependen de varios factores por ejemplo, condiciones meteorológicas. En el área local se toma en cuenta los contaminantes primarios de acuerdo con la dirección de los vientos, temperatura ambiente, estabilidad atmosférica, para este caso se utiliza la pluma gaussiana³². Para el área regional se toman en cuenta los contaminantes secundarios, los cuales se forman posteriormente a la emisión por interacción química, lejos del sitio de la emisión, por lo tanto no depende de las condiciones meteorológicas locales ni de los parámetros de la chimenea.

3) **Evaluación de los daños:** Estimada la concentración de contaminantes, se determina la dosis que es el cambio incremental en los niveles de contaminación y la respuesta en este caso sería el daño ocasionado en el receptor³³.

3.a) **Función exposición-respuesta:** para el caso de la salud humana se determinan los daños mediante estudios clínicos o epidemiológicos, los cuales relacionan un cambio físico observado por ejemplo, bronquitis crónica respiratoria, con una concentración de un contaminante específico. También, es importante

³² Es un sistema de coordenadas orientado en la dirección del viento.

³³ Se entiende por receptor, cualquiera que sea afectado por un cambio en los niveles de concentración de contaminantes en el aire. (hombre, cosechas, construcciones arquitectónicas, ecosistemas terrestres y acuáticos).

tomar en cuenta el segmento de población para realizar la estimación (niños, jóvenes, o mayores de 65 años).

Es importante señalar una dificultad en la aplicación de la función exposición respuesta; es la la transferibilidad de un contexto a otro. Por ejemplo, la aplicación de la función exposición respuesta para los daños ocasionados a la salud pública en Estados Unidos se basa en estudios realizados en el mismo país. Si se desea transferir los resultados del estudio realizado en Estados Unidos a Europa, su validez en la aplicación sería imprecisa, por las diferentes condiciones de cada país. Tales como densidad de población, condiciones metereológicas, segmento de población en estudio, entre otros. Además, estos estudios se basan en estudios epidemiológicos, los cuales determinan los daños a la salud. De igual modo, proporcionan la respuesta bajo condiciones realistas, lo que no sucede con estudio realizados en laboratorio. Por lo anterior, la aplicación de este tipo de modelos es compleja.

4) Evaluación monetaria: Los daños físicos estimados en la etapa anterior, son convertidos a términos monetarios. En el caso de bienes no negociables en el mercado, tales como daños a la salud humana, biodiversidad, sitios arqueológicos, su valoración se realiza por medio de técnicas fundamentadas en la teoría del beneficio económico (técnicas propuestas en el mercado observado y mercado no observado). Por ejemplo, en el estudio realizado por la Comunidad Europea 1995, se utilizó la técnica valoración contingente para estimar los daños a la salud, mediante un cuestionario aplicado a un segmento de población afectada por los contaminantes bajo estudio, mediante dos alternativas la disposición a pagar (WTP) por mejorar el bienestar individual, o la disposición a aceptar una retribución por el daño ocasionado (WTA).

En cuanto al costo directo asociado a cada enfermedad (bronquitis crónica, asma, alergia respiratoria) comprende el costo de atención médica, medicinas, consulta a especialistas, hospitalización, análisis de laboratorio. El costo de días laborales

pérdidos o pérdida de productividad, se toma como referencia los precios del mercado, para este caso se utilizan las técnicas cambio en el ingreso, cambio en la productividad. Para estimar los daños asociados a la mortalidad se utilizan las técnicas valoración contingente, cambio en el ingreso, y estimación de la vida. Es importante mencionar, que el costo medio ambiental representa en valor monetario asignado al daño causado por la contaminación. La suma de todos los costos son estimados en unidades de energía por ejemplo (USD/KWh, ECU/kWh), o en unidades de masa por ejemplo (USD/lb de emisión).

Por otro lado, el modelo *bottom-up* ha sido usado en países desarrollados, tales como Europa y Estados Unidos. Este método es de utilidad para determinar la opción energética que represente un menor costo y conocer las implicaciones de valorar los daños ocasionados por los contaminantes. Sin embargo, no incorpora el efecto de los cambios en la estructura del mercado, por ejemplo oferta y demanda de los combustibles, los cuales puede cambiar debido a un incremento en el precio. Además, no toma en cuenta las regulaciones ambientales para seleccionar la tecnología. De igual forma, es de utilidad en los países en vías de desarrollo para evaluar y poner en práctica las diferentes opciones de mejorar las tecnologías y practicas operacionales para reducir emisiones. Algunos ejemplos de software son (*MARKAL, EFOM, LEAP*), (Pandey, 2002).

3.4 Análisis y revisión en la literatura científica internacional sobre la valoración de la externalidad para combustibles fósiles únicamente para países desarrollados mediante la aplicación de los métodos *Top-down* y *Bottom-up*

Es importante destacar que actualmente los combustibles fósiles (carbón, petróleo, y gas natural) representan la principal fuente de generación eléctrica a nivel mundial. De igual modo, el incremento de emisiones de contaminantes antropogénicos en su gran mayoría se debe a la combustión de combustibles fósiles, los cuales representan el 80% de gases invernadero (Cosmi, *et al.*, 2003).

Los combustibles fósiles durante la explotación, extracción, transporte y generación de electricidad ocasionan daños al medio ambiente; especialmente en la fase de generación por la emisión de contaminantes a la atmósfera que producen la lluvia ácida y el cambio climático. También ocasionan daños a la sociedad, tales como enfermedades crónicas respiratorias y en casos más severos ocasiona la muerte. Los daños asociados a los combustibles fósiles se mencionaron detalladamente en el capítulo dos. De ahí surge la importancia de cuantificar monetariamente la externalidad para fuentes fósiles. Por lo tanto este análisis se dirigirá únicamente para estas fuentes energéticas, debido a que en la literatura científica internacional, la mayoría de estudios de externalidades están enfocados principalmente a estimar las externalidades asociadas a estas fuentes. Aunque, es de aclarar que todas las fuentes de generación eléctrica causan externalidades medio ambientales y de igual manera es de importancia cuantificar y monetarizar los daños implícitos. De acuerdo con Söderholm, *et al.* (2003) el estudio realizado por la Comunidad Europea para Europa en el año 1995, con un enfoque *Bottom-up*, la externalidad asociada al carbón representa el valor más alto 0.03-0.04 USD, para el combustible petróleo la externalidad es de 0.03 USD/kWh³⁴, para el gas natural se obtuvo el valor más bajo 0.016 USD /kWh. Según Nocker, *et al.* (1999), quien realizó un estudio en Bélgica con un enfoque *Bottom-up* para una central termoeléctrica que opera sin tecnología para tratar emisiones, el valor de la externalidad asociada al dióxido de azufre SO₂ es de 0.0739 USD/Kwh, para óxidos de nitrógeno NO_x 0.06576 USD/kWh, por partículas 0.00301 USD/kWh. La externalidad asociada al combustible gas natural es de 0.00424 USD/kWh. Es importante señalar que, una central eléctrica que es equipada con tecnología para reducir emisiones o una disminución del contenido de azufre en el carbón, el valor de la externalidad disminuiría significativamente.

Por otra parte, el estudio realizado por Sundqvist (2004), hace una recopilación de estudios que han usado los dos métodos (*Top-Down* y *Bottom-up*). En lo que se

³⁴ En este análisis todos los valores de la externalidad encontrados en la literatura científica internacional en diferente moneda han sido llevados a valor presente USD 1997 (dólares estadounidenses), con la finalidad de facilitar la interpretación de los resultados.

refiere al método *Top-down*, cita el estudio realizado en Alemania por Friedrich, *et al* (1991), (1993), la externalidad para el combustible carbón fue de 0.00365-0.00873 USD/Kwh; de igual modo, en el estudio realizado en Estados Unidos por Ottinger, *et al* (1991) para el combustible carbón la externalidad representa un valor de 0.03676- 0.08998 USD/kWh; para el combustóleo 0.03930- 0.100375 USD/kWh, para el gas natural 0.01015- 0.01645 USD/kWh. En un estudio realizado en el Reino Unido por Pearce, *et al* (1992); (1993); la externalidad para el carbón fue de 0.02711- 0.14655 USD/kWh, para el combustóleo 0.13344 USD/kWh, y para el gas natural 0.01066 USD/kWh. Este mismo autor en el año 1995 realizó un estudio para el mismo país, en el cual la externalidad para el carbón fue de 0.0306 USD/kWh, y para el gas natural 0.00497 USD/kWh. Ott, 1997, realizó un estudio para Suiza, estimando la externalidad para el combustóleo en 0.13172- 0.20890 USD/kWh, y para el gas natural en 0.08988-0.13426 USD/kWh; finalmente un estudio realizado en Holanda por Faaij *et al* (1998), la externalidad para el carbón fue de 0.04042 USD/kWh.

Este mismo autor Sundqvist (2004), presenta estudios con base en el método *Bottom-up*, uno de ellos es el estudio realizado en Estados Unidos por ORNL & RfF (1994-1998), en la cual la externalidad para el carbón fue de 0.00111- 0.00487 USD/kWh, para el combustóleo 0.00040- 0.00324 USD/kWh y para el gas natural 0.00010- 0.00030 USD/kWh. Otro estudio más realizado en Estados Unidos por RER, (1994), la externalidad para el combustóleo fue de 0.00030- 0.05900 USD/kWh, para el gas natural fue de 0.00003- 0.00487 USD/kWh. De igual modo, reporta un estudio realizado por la Comunidad Europea en el año 1995, para el Reino Unido el valor por externalidad para el carbón fue de 0.01- 0.024 USD/kWh, en Alemania la externalidad para el combustóleo fue de 0.30468 USD/kWh, y en el Reino Unido la externalidad para el gas natural fue de 0.00101 USD/kWh. El estudio realizado en Holanda por Faaij, *et al* (1998), para el carbón la externalidad fue de 0.03899 USD/kWh. Cabe mencionar este mismo autor en ese mismo año estimó la externalidad para el carbón mediante el método *top-down*, cuya estimación fue de 0.4042 USD/kWh. De igual modo, la Comunidad Europea

(1999), estimó la externalidad para el gas natural, tomando como referencia 12 países de la Unión Europea, la externalidad fue de 0.00256-0.116 USD/KWh; la estimación de la externalidad para el combustible carbón fue de 0.008-0.713 tomando como referencia 10 países de la Unión Europea; la externalidad asociada al combustóleo fue de 0.020-0.393 estimada para Francia, Alemania, Grecia, Italia y Reino Unido. Finalmente, el estudio realizado por Maddisson, (1999), la externalidad para el carbón fue de 0.00314- 0.00721 USD/kWh, para el combustóleo la externalidad fue de 0.00792, y para el gas natural fue de 0.00132 USD/kWh.

Según, Scheleisner (2000), compara siete estudios y presenta las grandes discrepancias en los resultados. Así por ejemplo, el estudio realizado por Rowe *et al* (1995), la estimación de la externalidad relacionada con el combustible carbón es baja comparada con otros estudios, esto se debe a que los daños ocasionados por calentamiento global no son incluidos en la estimación. En el estudio realizado por Scheleisner, *et al* (1997) la estimación de la externalidad para el combustible gas natural es alta comparada con otros estudios 0.0088- 0.10026 USDkWh, debido a que los daños asociados al CO₂, son incluidos en el estudio. Sin embargo, en el estudio de Nueva York, el CO₂ no es incluido, por lo tanto la externalidad es baja para el gas natural ciclo combinado, es de 0.00075- 0.00288 USDkWh. Los resultados de la externalidad representan la importancia de poseer el conocimiento para seleccionar el tipo de metodología. Igualmente, los resultados difieren mucho, dependiendo del tipo de combustible y metodología utilizada. Por ejemplo, las emisiones de centrales de ciclo combinado son bajas comparadas con centrales que emplean combustible pulverizado. De igual forma, las especificaciones de la central eléctrica afectan la magnitud de las externalidades, tales como tecnologías de abatimiento, tipo de central, parámetros utilizados en modelos de simulación de transporte atmosférico.

Por otra parte, el estudio realizado en España por Varela, *et al* (2002), fundamentado en el método *bottom-up*, la externalidad para el combustóleo fue de

0.05152 USD/Kwh y para el gas natural 0.0199USD/Kwh. Este estudio presenta incertidumbre en los resultados, debido al proceso de valoración de las externalidades, a la determinación de los factores de emisión y la extrapolación de resultados de una localización a otra.

Según, Diakoulaki, *et al* (2000), estima las externalidades medio ambientales en Grecia, con base en el método *Bottom-up*. Los daños están asociados a la salud, agricultura, construcciones arquitectónicas, debido a los contaminantes SO₂, NO_x, PM, además los daños causados por el calentamiento global en centrales convencionales (lignito, combustóleo y gas natural). Para el combustóleo la externalidad fue de 0.02983 - 0.25147 USD/Kwh y para el gas natural 0.00581- 0.94438 USD/Kwh.

De igual manera, Bloustein, (2004), en Nueva Jersey reporta un rango de estimaciones para combustibles fósiles con base en estudios de externalidades realizados en los últimos tres años. Los daños principalmente están asociados con mortalidad, morbilidad, daños a las construcciones, daños a los ecosistemas; debido a la concentración de emisiones en la atmósfera. Las concentraciones varían de acuerdo a las condiciones meteorológicas, condiciones específicas de la central y tipo de combustible. Para el caso del carbón la externalidad fue de 0.18952- 0.91589 USD/kWh, para el combustóleo 0.16666- 0.54011 USD/kWh, para el gas natural 0.06239- 0.17879 USD/kWh. El Anexo C, muestra los valores de las externalidades en la generación eléctrica por combustibles fósiles, en países desarrollados).

3.4.1 Conclusiones e incertidumbre del análisis de la sección valoración de externalidades combustibles fósiles a través de los métodos *Top-down* y *Bottom-up*

Realizando un análisis detallado de los resultados de externalidades medio ambientales, presentados por los autores citados anteriormente, se puede

observar que además de las diferencias en el método utilizado en la estimación (*Top-down-bottom-up*), no todos los autores usan los mismos parámetros para estimar las externalidades. Por ejemplo, la valoración de la externalidad la presentan por tipo de combustible y por tipo de contaminante, o integrando los combustibles fósiles, el rango de estimación también difiere en los estudios (bajo, medio, alto), la especificación del ciclo del combustible en que se está evaluando los daños, como también los daños ocasionados en el ciclo total del combustible, entre otros. Indudablemente, esto hace un poco difícil encontrar similitud en la presentación de los resultados. Sin embargo, se puede apreciar que la generación eléctrica a partir de centrales de carbón representan las externalidades más altas debido al alto contenido de azufre del combustible, de igual manera el combustóleo, siendo más atractivo el gas natural en centrales de ciclo combinado.

Igualmente, los diferentes estudios presentan estimaciones de externalidades que difieren considerablemente. Se puede observar en los rangos estimados por tipo de combustible, esto refleja que el combustible gas natural impone costos externos más bajos a la sociedad con relación a los combustibles carbón y combustóleo.

También, es importante mencionar, que la selección del método afecta significativamente los resultados. Con el método *top-down* se obtienen variaciones de externalidades más altas comparado con los resultados del método *bottom-up*. También existen diferencias muy significativas inclusive para el mismo tipo de combustible. Otro factor que puede afectar los resultados son los problemas con la aplicación del método, especialmente con el método el *top-down*, debido a que no toma en cuenta el ciclo del combustible en que se están evaluando los daños y el sitio específico de los mismos. Por ejemplo, para el caso de los daños ocasionados a la salud por emisiones de NO_x depende del sitio específico tales como la distribución de población, velocidad del viento, y otros contaminantes que reaccionan con el NO_x emitido a la atmósfera (Friedrich, *et al.*, 2001). Por ende, mediante el método *top-down* no es posible cuantificar y estimar los daños específicos ocasionados al medio ambiente y a la salud, ya que éstos dependen

de la tecnología empleada y del sitio específico. En este caso es de utilidad el método *bottom-up*. De igual manera, es difícil de interpretar y de transferir los resultados de estudios de externalidades de un contexto a otro, debido a las diferencias en muchos factores tales como densidad de población, características implícitas al segmento de población de estudio (niños, jóvenes o mayores de 65 años), ubicación geográfica, condiciones meteorológicas, características de la central, tecnología utilizada, entre otros.

Por otra parte, en la estimación de la externalidad a través del método *Bottom-up* se realiza a través de un conjunto de estudios científicos y económicos. Así mismo estos estudios presentan un alto grado de incertidumbre debido a las diferencias en el rango de los resultados de la estimación de la externalidad. Se presenta incertidumbre en la estimación de los daños debido a la variabilidad de los datos, en la aplicación de la función dosis-respuesta, en la extrapolación de datos, en la falta de información detallada con respecto al comportamiento humano, incertidumbre relacionada con decisiones políticas y éticas como la elección de una tasa de descuento e incertidumbre acerca del futuro. Éste método también presenta incertidumbre en las etapas del modelo ruta de impacto, por ejemplo, establecer un valor a la vida, el cual es considerado un dilema ético; a la selección de los modelos de dispersión atmosférica, a la idiosincrasia en el análisis debido a la interpretación de ambiguos o información incompleta, a los cambios en las preferencias de la población, disposición a pagar (*WTP*) o aceptar una compensación (*WTA*) es algo natural y no un problema metodológico. También, las preferencias de la población pueden cambiar debido a la influencia en la variación de educación y cultura. Indiscutiblemente, un factor inevitable es el error humano que puede presentarse en la interpretación de una función dosis-respuesta, en aplicación de los modelos de dispersión, en la valoración e interpretación de los resultados, en la aplicación del método, en la extrapolación de resultados de un contexto a otro, error tipográfico al digitar los datos (Martin, 1994); (Norton, *et al.*, 1998); (Eyre, 1997); (Nocker, *et al.*, 1999); (Söderholm, *et al.*, 2003).

Por lo anterior, se puede concluir que los resultados de la valoración de las externalidades de la generación eléctrica pueden ser muy ambiguos, debido a que cada autor presenta su punto de vista. Algunos opinan que las discrepancias se deben a la selección y aplicación del método, otros señalan que los daños están asociados con la ubicación específica de la central, otros señalan que también se debe al tipo de combustible utilizado, entre otros. Por lo tanto la estimación no proporciona una base exacta para los encargados de la planeación de la política energética. Aunque, sí puede ser un primer acercamiento a la importancia de incluir los costos impuestos a la sociedad y al medio ambiente que proporciona la generación eléctrica. No obstante, es una tarea constante de investigación científica de buscar nuevas soluciones o métodos más exactos que permitan realizar una comparación de resultados y por ende una toma de decisión óptima y sustentable.

4. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la generación eléctrica en México, se produce básicamente a partir de combustibles fósiles, en centrales termoeléctricas que funcionan con ciclo Rankine³⁵, mediante la quema combustóleo y carbón; mientras que el consumo de gas natural en su mayoría se realiza en plantas de ciclo combinado. Dichos procesos, generan emisiones a la atmósfera, las cuales son en parte responsables de los daños al medio ambiente y a la salud humana.

En este capítulo se pretende hacer una estimación de las externalidades en México por emisiones de óxidos de nitrógeno NO_x, dióxido de azufre SO₂ y partículas PM; provenientes de la generación eléctrica.

El presente capítulo tiene como objetivo hacer unas primeras aproximaciones al cálculo de las externalidades de la generación eléctrica en México. Primeramente se aplicará el método transferencia de beneficios para hacer una estimación de las externalidades provenientes de la generación eléctrica con gas natural. Después se analizará y se extraerá datos del estudio de la SEMARNAT (2004), la cual evalúa las externalidades provenientes de las plantas de combustóleo y de carbón. Realizando esto se podrá dar una primera estimación de las externalidades de la generación eléctrica en México.

4.1 Situación Actual de la generación eléctrica en México

Actualmente en México, la generación eléctrica se basa principalmente a partir de combustibles fósiles. De igual modo, predomina la generación termoeléctrica por combustóleo (Vigay, *et al.*, 2004), entre las centrales más descataadas del país están: la central de Tuxpan que cuenta con una capacidad instalada de 2,200 MW y la central de Manzanillo con una capacidad instalada de 1,900 MW. Para el caso

³⁵ Ciclo Rankine, es el ciclo ideal para las plantas de potencia a vapor.

del gas natural se ha incrementado su uso en centrales de ciclo combinado. Las centrales carboeléctricas que emplean combustible nacional se localizan en Coahuila siendo de las más importantes Carbón II con una capacidad instalada de 1,400 MW y Río Escondido con una capacidad instalada de 1,200 MW (POISE 2004-2013).

De acuerdo a las cifras reportadas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en el año 2002, el 82.7% de la energía eléctrica generada fue mediante combustibles fósiles.

Según, CFE (2003), al cierre del mes de marzo del año 2003, incluyendo productores externos de energía, se cuenta con una capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica de 40,354.24 MW, de los cuales corresponden 9,378.82 MW a centrales hidroeléctricas; 26,160.46 MW a centrales termoeléctricas que consumen hidrocarburos; 2,600.00 MW a centrales Carboeléctricas; 847.90 MW a centrales geotermoeléctricas; 1,364.88 MW a centrales nucleoeeléctricas y finalmente 2.18 MW corresponden a centrales eoloeléctricas. La Figura 4.1 muestra la generación eléctrica en México mediante la participación de las diversas fuentes energéticas.

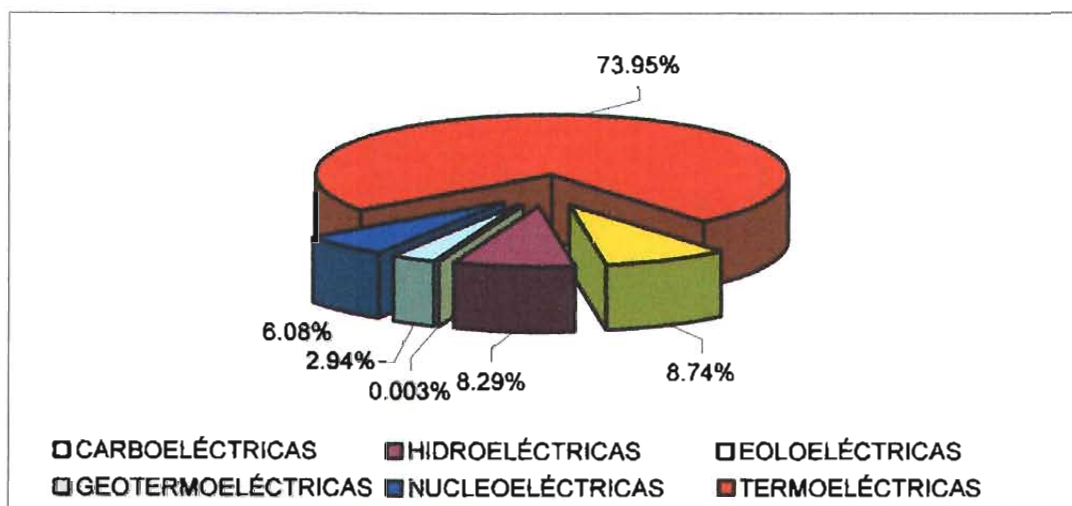


Figura 4.1 Generación eléctrica por fuente de energía, (CFE, Marzo 2003).

La figura 4.1.1 muestra la capacidad efectiva de generación instalada en México a marzo del año 2003.

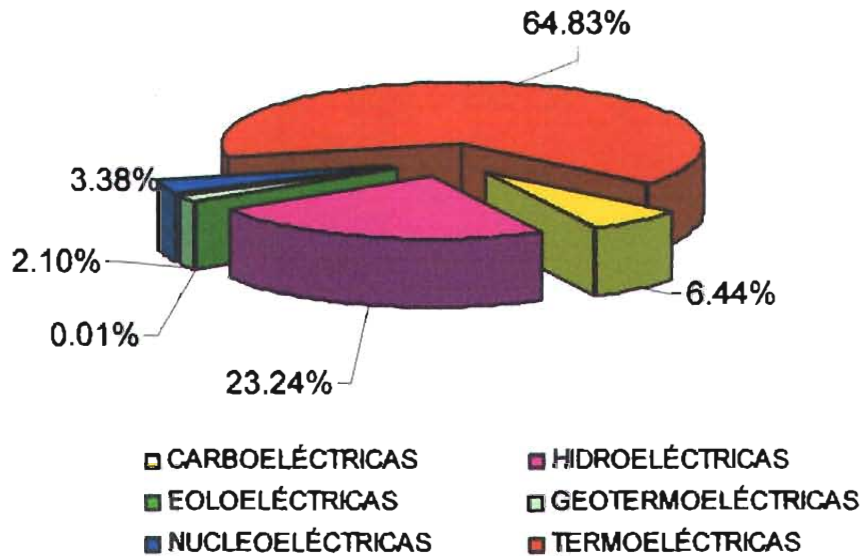


Figura 4.1.1 Capacidad instalada efectiva de generación en México (CFE, Marzo, 2003).

De acuerdo con, el programa de obras e inversiones (POISE 2004-2013), la energía producida para el servicio público por tipo de tecnología en el año 2003 fue de 203,555 GWh. La Figura 4.1.2 muestra la generación porcentual por tipo de tecnología.

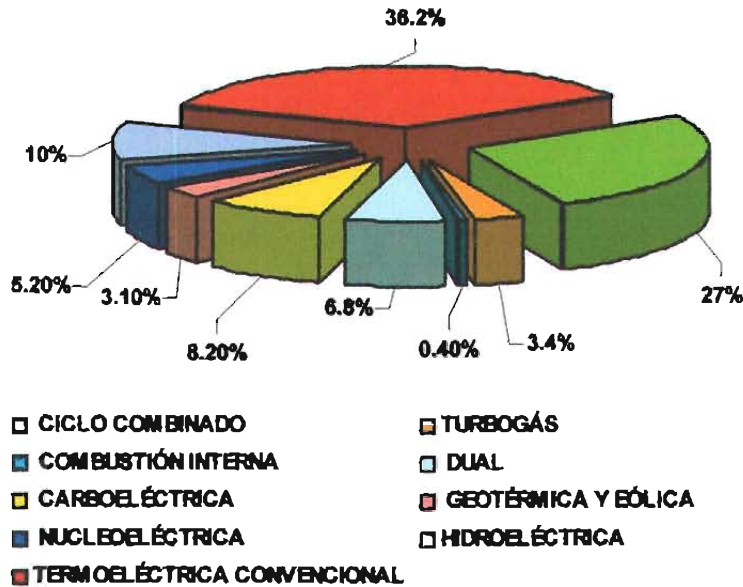


Figura 4.1.2 Generación eléctrica por tipo de tecnología 2003, servicio público 203.555GWh (POISE 2004-2013).

Por otra parte, de acuerdo con Islas *et al.* (2004), la combustión de combustibles fósiles en México representan la principal fuente de contaminación atmosférica. Entre los principales contaminantes están: las emisiones de óxidos de nitrógeno NO_x , dióxido de azufre SO_2 y partículas PM. La Figura 4.1.3 muestra las emisiones de óxidos de nitrógeno por tipo de central eléctrica en el año 2000.

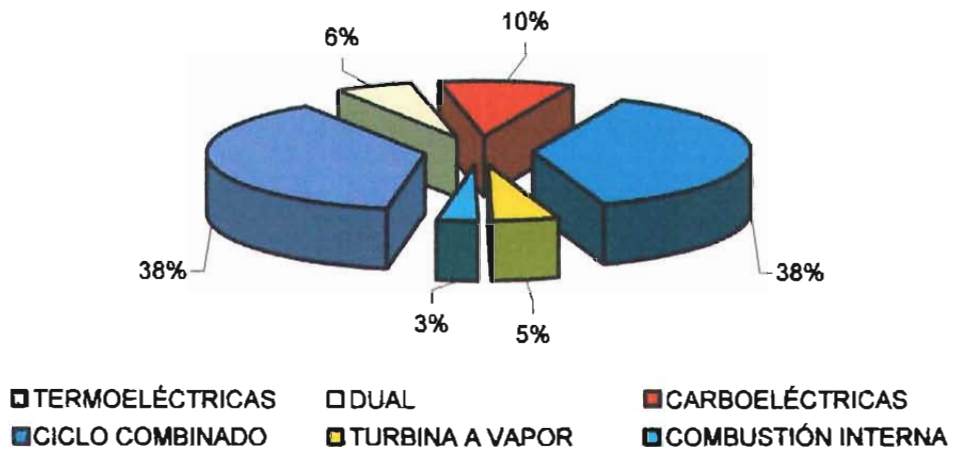


Figura 4.1.3 Emisiones de óxidos de nitrógeno NO_x por tipo de central eléctrica en México (Islas, et al., 2004)

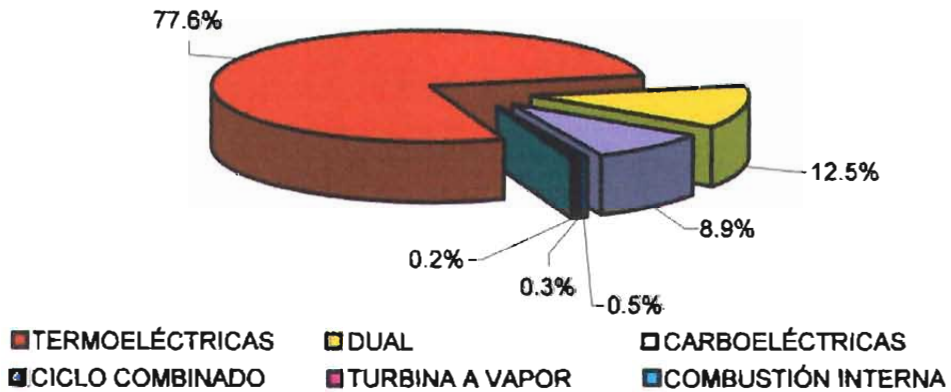


Figura 4.1.4 Emisiones de dióxido de azufre SO_2 por tipo de central eléctrica en México (Islas, et al., 2004)

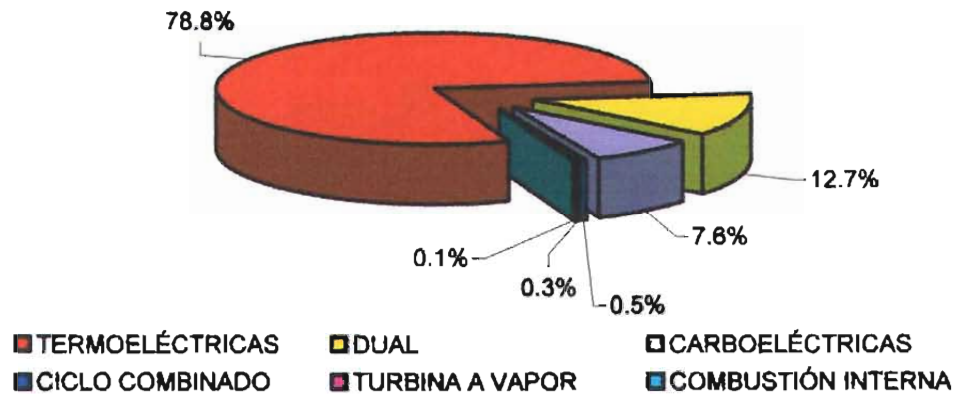


Figura 4.1.5 Emisiones de partículas PM por tipo de central eléctrica, en México (Islas, *et al.*, 2004)

4.2 Cálculo de las externalidades provenientes de centrales eléctricas a partir de gas natural en México

Para estimar la externalidad a partir del gas natural se utilizará la metodología transferencia de beneficios expuesta en el capítulo tres. Dicha metodología no implica realizar ninguna valoración. Utiliza datos de resultados de estudios internacionales previos con su respectiva valoración en términos monetarios de las externalidades. La aplicación de esta técnica es de utilidad cuando la investigación es muy costosa o cuando el tiempo disponible es corto para realizar un estudio original. Una desventaja que presenta es que los resultados están en función de los estudios originales (Sundquist, 2000).

4.2.1 Con la finalidad de conocer el costo de la externalidad cuando se genera energía a partir de gas natural. Se aplicarán los criterios que se exponen a continuación:

4.2.1.a Revisión de la literatura científica internacional y selección de datos de externalidades por contaminante únicamente mediante el método *bottom-up*. Esta

revisión se hará con el propósito de extraer los datos reportados hasta la fecha del costo de la externalidad.

4.2.1.b Análisis de datos de externalidades. Cuando las autores presenten solamente un valor para la externalidad de un contaminante, entonces se seleccionarán un valor máximo o mínimo encontrado por autor, y el valor faltante se tomará de acuerdo a otro autor.

4.2.1. c Obtener el costo anual de la externalidad por contaminante asociado al gas natural a través de la generación de energía eléctrica por tipo de tecnología en el año 2003.

4.2.1. d Presentación y análisis de resultados.

4.2.1. e Conclusiones de la aplicación del método.

4.2.2 Presentación de datos de externalidades e interpretación de resultados

Con base en los datos de externalidades encontrados en la literatura científica internacional para gas natural³⁶, se seleccionaron los valores de las externalidades máximos y mínimos para cada contaminante en particular (NO_x y SO₂). Se presentan a continuación en la tabla 4.2.2.

³⁶ Se incluyen los costos externos por contaminante únicamente para el combustible gas natural.

AUTOR	COMBUSTIBLE	TIPO DE CONTAMINANTE	VALOR DE LA EXTERNALIDAD USD/kWh	ESCALA
(Munksgaard, <i>et al.</i> , 1998)	Gas natural	NO _x	0.00202	mínimo
(Nocker, <i>et al.</i> , 1999)	Gas natural	NO _x	0.00499	máximo
(Munksgaard, <i>et al.</i> , 1998)	Gas natural	CO ₂	0.01792	mínimo
(Munksgaard, <i>et al.</i> , 1998)	Gas natural	CO ₂	0.02868	máximo

Tabla 4.2.2. Costos de externalidades por contaminante para el combustible gas natural ((Munksgaard, *et al.*, 1998), (Nocker, *et al.*, 1999).

Para calcular el costo anual por emisiones de CO₂ y de NO_x de origen gas, se toma como referencia la generación eléctrica anual del año 2003³⁷ para el servicio público cuyo consumo fue de 203,555 GWh (Figura 4.3; pp 4); (POISE 2004-2013); de los cuales el 27 % corresponde a centrales de ciclo combinado y 3.4% corresponde a centrales turbogás³⁸; la suma proporciona el 30.4% del total de generación eléctrica anual de origen gas natural. Este resultado se multiplica por el total de generación anual y se obtiene la generación anual asociada a gas natural. Seguidamente, los valores máximo y mínimo hallados en la literatura para los contaminantes CO₂ y NO_x, se multiplican por la generación anual estimada y de esta manera se obtiene el valor anual por emisiones de cada contaminante asociado a gas natural por energía producida en el año 2003. La Figura 4.2.2 muestra las externalidades asociadas a los contaminantes NO_x, CO₂ y SO₂ por energía producida en el año 2003.

³⁷ No incluye autoabastecimiento ni cogeneración.

³⁸ Incluye arrendamiento de unidades en el programa emergente.

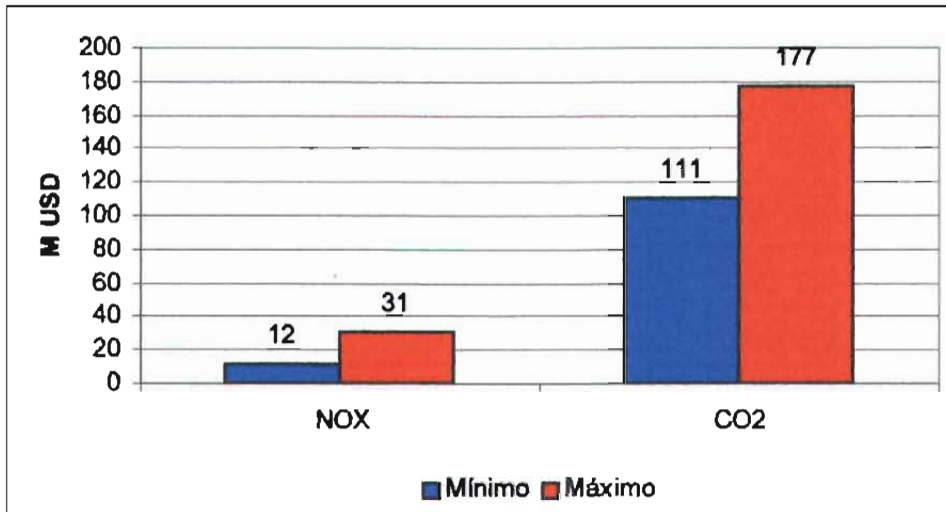


Figura 4.2.2 Costo externo, asociado al gas natural por emisiones de NO_x, CO₂, SO₂ por energía producida en el año 2003.

La figura 4.2.2 muestra el costo externo por emisiones de NO_x y CO₂ para el combustible gas natural. Los valores que se han graficado corresponden a la energía producida en el año 2003. Para el caso de la estimación de la externalidad por emisiones de NO_x, los valores mínimos y máximos son del orden de 12 M USD y 31 M USD. En cuanto a la estimación de la externalidad por emisiones de CO₂, los valores mínimos y máximos son del orden de 111 M USD y 177 M USD. Se observa, que el gas natural por ser un combustible más limpio, no presenta costo por externalidad respecto a las emisiones de SO₂.

4.2.3 Conclusiones de la aplicación del método

Como se puede apreciar el método transferencia de beneficios es fácil de aplicar. Sin embargo, presenta como desventaja que se está extrapolando un costo de la externalidad por contaminante estimado en países desarrollados tales como Bélgica y Dinamarca, lo que hace que la estimación presente un grado de incertidumbre debido a las diferencias en cuanto a condiciones Meteorológicas densidad de población y demás parámetros involucrados en el análisis. También, los costos externos estimados para el caso de Dinamarca incluyen únicamente

daños al medio ambiente cuyo valor mínimo por contaminante CO₂ es de 0.01792 USD /KWh y su valor máximo es de 0.02868 USD /KWh. Para el caso del NO_x su valor mínimo es de 0.00202 USD /KWh (Munksgaard, *et al.*, 1998). Para el caso de Bélgica el valor máximo de la externalidad por contaminante NO_x es de 0.00499 USD /KWh, el cual está asociado solamente a daños al medio ambiente y a la salud humana (Nocker, *et al.*, 1999). A pesar de las diferencias encontradas, es importante señalar que fue posible estimar mediante el método transferencia de beneficios el costo de las externalidad por emisiones de contaminantes NO_x, CO₂ asociados al gas natural en México. Este costo se ubica en el intervalo de 123 M USD (costo mínimo) y 208 M USD (costo máximo).

4.3 Evaluación de Externalidades Ambientales de la Generación Termoeléctrica en México

A continuación se presenta el estudio de Externalidades realizado en México por la Secretaría del medio ambiente y Recursos Naturales de México y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de la Organización de Naciones Unidas. El objetivo fue las externalidades de la generación eléctrica a base de combustibles fósiles en México.

4.3.1 Metodología utilizada

Para estimar las externalidades de la generación a base de combustóleo y carbón en el estudio mencionado se utilizó la versión simplificada de la Metodología Vías de Impacto del proyecto *EXTERNE* de la Unión Europea, y el modelo Simplified Approach for Estimating Impacts of Electricity Generation (SIMPACTS)³⁹ del organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

³⁹ Simpacts, fue propuesto por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el cual permite la estimación de los costos externos mediante un grupo de herramientas de cálculo que requieren un número limitado de datos para evaluar los impactos físicos y estimar los costos a la salud humana y al medio ambiente.

Para la elaboración del estudio se seleccionaron 11 zonas, donde se encuentran 13 centrales termoeléctricas que utilizan como combustible carbón o combustóleo. De acuerdo a la NOM-085-SEMARNAT-1994, las siguientes centrales están ubicadas en zonas críticas: Tula de Allende, Salamanca, Altamira, Rosarito y Samalayuca. Las demás están ubicadas en las siguientes localidades: Río Escondido, Tuxpan, Manzanillo, Petacalco, Puerto Libertad y Mazatlán.

Se utilizó la metodología vías de impacto, la cual comprende las siguientes etapas:

- Caracterización de la fuente emisora
- Dispersión de los contaminantes y cálculo de concentraciones
- Estimación de los daños
- Evaluación monetaria
- La presente metodología se basó en el modelo Simpacts, el cual consta de tres módulos, pero se utilizó solamente el módulo AIRPACTS para evaluar únicamente los daños a la salud humana.

4.3.2 Datos requeridos

La aplicación de la metodología seleccionada requirió una serie de datos técnicos, económicos y de salud. Se obtuvo información geográfica, como densidad local de los receptores y distribución de los receptores para cada una de las 11 zonas de estudio, así como también las características de las centrales termoeléctricas, tipo de combustible utilizado, altura de la chimenea, diámetro de la chimenea, temperatura de gases de escape, capacidad instalada y generación por central, incluyendo el inventario anual de emisiones de partículas PM, dióxido de azufre SO_2 y óxidos de nitrógeno NO_x de cada central. También, se solicitó datos tales como velocidad media del viento, temperatura ambiente media, estadísticas de estabilidad atmosférica y altura del anemómetro.

Para estimar los daños a la salud tales como bronquitis crónica, admisiones hospitalarias respiratorias, crisis aguda de asma y tos crónica, se recurrió a estudios realizados en otras zonas o países, debido a la complejidad para obtener

datos de estudios epidemiológicos por sitio. En este estudio se utilizaron principalmente los valores de Incremento de Riesgo Relativo (IRR) resultante del meta-análisis del proyecto Ecosistema Urbano y de Salud de los Habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ECOURS). También se tomó como referencia el estudio *ExternE*, realizado por la Comunidad Europea (1995) y los estudios propuestos por la Organización Mundial de Salud (OMS). Con base en la información analizada se tomó como criterio utilizar la tasa de incremento relativo (IRR) de menor valor para cada daño. La información sobre el costo del daño a la salud se obtuvo de los valores estimados por el Instituto Nacional de Salud Pública. Para estimar la mortalidad se utilizó el enfoque de años de vida perdidos (AVP) del proyecto *ExternE*. El valor europeo fue transferido a México mediante la relación de paridad del poder adquisitivo del ingreso nacional bruto con respecto a la Unión Europea.

La tabla 4.3.2 resume los costos de los daños evaluados en dólares del año 2000: costos directos de la enfermedad (CD), para este caso se tomó como referencia los costos reportados por el Instituto Mexicano del Seguro Social en el nivel III de atención en el año 2001. En cuanto a la pérdida de productividad (PP) se calculó únicamente la pérdida laboral, tomando como base el salario promedio del año 2000 de la población mexicana. Finalmente la disposición a pagar (WTP), se tomó como referencia los costos sin precisar el año reportado en el estudio de Cesar *et al.* (2002).

Daño a la salud humana	Costo directo del daño (CD)	Pérdida de productividad	Disposición a pagar (WTP)	Costos transferidos	Días perdidos
Bronquitis crónica (adultos mayores de 18 años)	17750	81	30000	65786	7
Admisiones hospitalarias respiratorias. Cardio-cerebro-vasculares	2186	116	330	1680	10
Visitas a sala de urgencias	269	58	170		5
Días de actividad restringidos		12	20	43	
Crisis aguda de asma	317	23	170		2
Tos crónica				93	

Tabla 4.3.2 Costos unitarios para casos de morbilidad (SEMARNAT, 2004).

En cuanto a la estimación de mortalidad se tomó como referencia los datos reportados en el estudio de *ExternE*. Para adaptar el valor a México se consideró la relación de la paridad del poder adquisitivo del ingreso nacional bruto con respecto a la Unión Europea y el coeficiente elasticidad-ingreso. Se utilizó un factor de 0.37 de acuerdo a la relación de la paridad del poder adquisitivo del ingreso nacional bruto con respecto a la Unión Europea. Los valores de PPP⁴⁰_INB del Banco Mundial para México y Europa en el año 2000.

⁴⁰ Se entiende por paridad del poder adquisitivo, la forma de comparar el nivel de vida entre distintos países. El PIB per capita, convertido a una unidad monetaria.

La tabla 4.3.2.2 muestra el valor de un año de vida perdido en dólares del año 2000.

Tipo de Mortalidad	Europa	México
Mortalidad aguda	174,000	64,380
Mortalidad crónica	101,000	37,370

Tabla 4.3.2.2 Valor de un año de vida perdido (SEMARNAT, 2004).

4.3.3 Resultados

Los resultados de la aplicación proporcionaron información importante acerca de:

- El inventario de emisiones de los principales contaminantes asociados a la generación de electricidad a partir de fuentes fósiles.
- El nivel de concentración de las emisiones de NO_x, SO₂ y PM
- La incidencia de daños a la salud
- Aplicación de la función dosis-respuesta
- Estimación del costo de la externalidad por morbilidad y mortalidad en México.

Mediante la aplicación de la metodología vías de impacto para estimar las externalidades de la generación termoeléctrica en México, se obtuvo los siguientes resultados: El monto total de las externalidades fue de 465 millones de dólares año 2000, este valor representa el 0,1% del producto interno bruto de México en el mismo año y el 4% del gasto público en salud. Las externalidades más representativas se presentaron en las centrales eléctricas de Tuxpan, Manzanillo, Tula y Petacalco, las cuales representan las mayores emisiones del país.

La tabla 4.3.3 muestra los costos externos por central eléctrica, los cuales incluyen únicamente los daños de las emisiones en la salud humana bronquitis crónica, crisis aguda de asma, tos crónica, admisiones hospitalarias respiratorias, visitas a sala de urgencia y días de actividad restringidos. El costo del daño se asocia principalmente con sulfatos y en menor escala con nitratos.

Central Eléctrica	PM ₁₀	SO ₂	Sulfatos	Nitratos	Total Costos Externos	Centavos de dólar/kWh
Tuxpan	3503	1267	98300	3897	106967	0.70
Manzanillo	2452	936	65550	2803	71741	0.56
Tula	111161	4147	50021	2093	67422	0.66
Petalcalco	1660	655	51643	2160	56118	0.41
Río Escondido	1024	426	13639	33231	48320	0.26
Salamanca	5780	2323	30461	1241	39805	0.71
Altamira	3932	1393	32697	1296	39318	0.83
Mazatlán	1651	601	17548	696	20496	0.59
Pto. Libertad	30	11	7875	312	8228	0.23
Samalayuca	99	38	3230	128	3495	0.2
Rosarito	689	255	1785	300	3029	0.12
Total	31981	12052	372749	48157	464939	

Tabla 4.3.3 Costos externos por Zona y Contaminante, (SEMARNAT, 2004).

La tabla 4.3.3.1 muestra los costos externos por tonelada de contaminante emitido. Las centrales de Tuxpan, Tula, Salamanca y Altamira representan el costo externo más alto por tonelada de contaminante emitido, en cuanto a las emisiones de PM₁₀ y SO₂.

REGIÓN	Dólares/ton		
	PM ₁₀	SO ₂	NO _x
Tuxpan	219	397	235
Manzanillo	189	328	193
Tula	1157	359	199
Petalcalco	121	244	144
Río Escondido	121	93	319
Salamanca	991	360	200
Altamira	715	395	227
Mazatlán	396	278	193
Pto.Libertad	7	121	72
Salamayuca	63	132	78
Rosarito	502	28	619

Tabla 4.3.3.1 Costo externo por tonelada de contaminante emitido (SEMARNAT, 2004).

4.3.4 Conclusiones del estudio de la SEMARNAT

Las externalidades estimadas en las 11 centrales termoeléctricas en México, son del orden de 465 millones de dólares anuales. Incluye únicamente el costo de daños en términos de morbilidad y mortalidad.

Los costos externos están determinados principalmente por el impacto de los contaminantes secundarios, particularmente sulfatos. El monto total de los costos corresponde a un criterio conservador donde se tomaron por un lado las tasas de riesgo relativo de menor valor y por otro lado los costos de morbilidad sólo incluyeron los costos directos de enfermedad y pérdida de productividad. Los resultados presentan un rango de incertidumbre donde los resultados reales podrían ser tres a cinco veces menor o mayor que el estimado, SEMARNAT 2004.

El costo externo se ubica entre el 0.12 y 0.83 centavos de dólar por kWh, con un valor ponderado de 0.50 ajustado a los valores más altos de las centrales termoeléctricas de Altamira, Salamanca y Tuxpan. La internalización de los costos

implicaría un aumento entre el 3% y el 17% en los costos de producción de electricidad, considerando un costo promedio de generación original de los modelos de dispersión de contaminantes utilizados proporcionaron información sobre el nivel de concentración de emisiones. Se comprobó que las emisiones de SO₂ en las zonas de Tula, Mazatlán y Salamanca, están por encima de los niveles máximos permisibles de acuerdo a la NOM-085-SEMARNAT 1994.

El estudio conlleva a la viabilidad económica de aplicar medidas para reducir las emisiones, tales como tecnológicas de reducción de emisiones, estudios de mitigación y por ende minimizar los daños a la salud de la población.

Como se puede verificar, la aplicación de la metodología *Bottom-up* al caso de México, presenta un rango de incertidumbre debido a la ausencia de información, al proceso de selección de variables y a la idiosincrasia del analista. También, es importante mencionar que se extrapolaron datos del estudio realizado por la Comunidad Europea *ExternE* (1995) básicamente para estimar los daños por mortalidad. Además, se transfirió el costo del daño por caso de morbilidad con base en el estudio realizado en Austria por Spadaro (2002). Para el caso de la pérdida de productividad se tomó como referencia el estudio realizado por McKinley, *et al.*, (2003).

4.4 Cálculo de externalidades asociadas a las emisiones de NO_x, SO₂ y PM por combustibles fósiles en México

Para estimar las externalidades totales por combustibles fósiles (gas natural, carbón y combustóleo). Se toma como referencia el cálculo de la externalidad asociado al gas natural, el cual es de 123 millones de dólares, a este valor se suma el cálculo de la externalidad asociado a los combustibles carbón y combustóleo estimado por la SEMARNAT (2004), cuyo valor es de 465 millones de dólares. En tal sentido, la estimación de la externalidad para los combustibles fósiles combustóleo, carbón y gas natural es de 588 millones de dólares. Cabe

señalar que la externalidad estimada para el combustible gas natural presenta un grado de incertidumbre debido a la extrapolación de datos de otros países; además el costo externo estimado en esos países incluye daños al medio ambiente y a la salud humana. Para el caso del estudio realizado en México por la SEMARNAT, la externalidad incluye únicamente daños a la salud por morbilidad y mortalidad. De igual manera, se extrapolan los valores de otros países y se adaptan los valores al caso mexicano. A pesar de la incertidumbre en la aplicación de los dos métodos, se presenta un cálculo de la externalidad por combustibles fósiles aplicado al caso mexicano. La figura 4.4 muestra los costos externos asociados a combustibles fósiles.

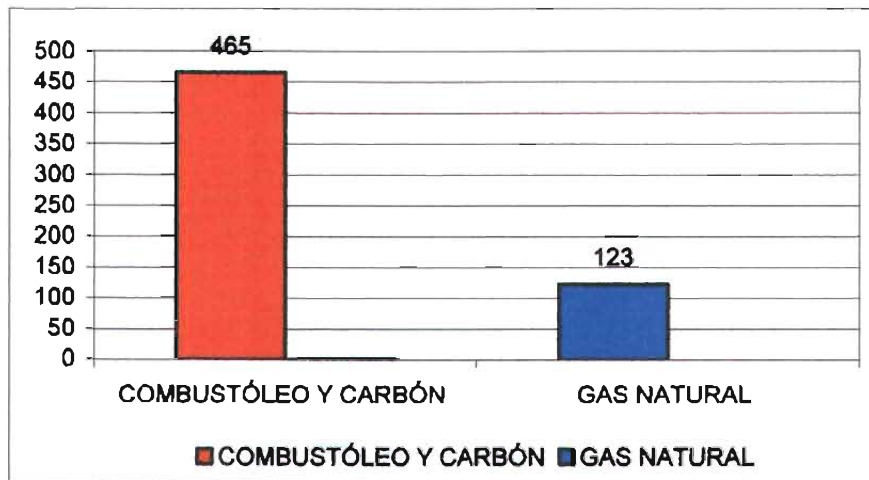


Figura 4.4 Costo externo anual por combustible fósil en el Sector Eléctrico Mexicano (Munksgaard, *et al.*, 1998), (Nocker, *et al.*, 1999); (SEMARNAT, 2004).

La figura 4.4.1 muestra los costos externos para los combustóleo, carbón y gas natural. De acuerdo con estos datos, la estimación de la externalidad es de 588 millones de dólares anuales.

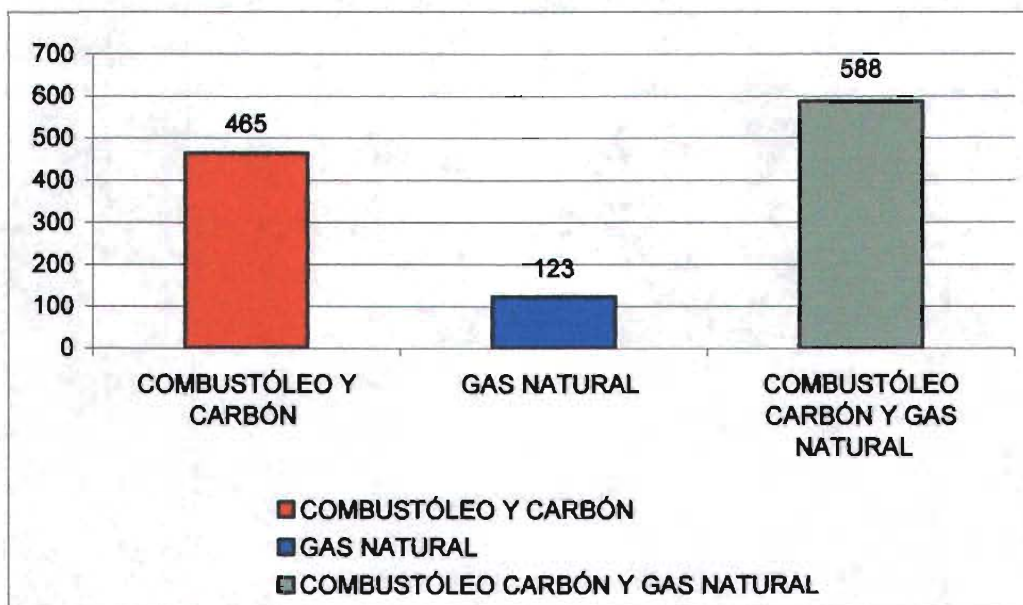


Figura 4.4.1 Costo externo total incluyendo combustóleo carbón y gas natural para el Sector Eléctrico Mexicano (Munksgaard, *et al.*, 1998), (Nocker, *et al.*, 1999); (SEMARNAT, 2004).

ANEXOS


**ANEXO A. ANÁLISIS DE EJEMPLOS POR
TIPO DE EXTERNALIDAD NEGATIVO Y
POSITIVO EN EL SECTOR ENERGÉTICO**

ANEXO A. EJEMPLOS DE EXTERNALIDADES MEDIO AMBIENTALES DE TIPO POSITIVO Y NEGATIVO EN EL SECTOR ELÉCTRICO

CLASIFICACIÓN EXTERNALIDAD	EJEMPLO DE EXTERNALIDAD NEGATIVA	CONSECUENCIAS	EJEMPLO DE EXTERNALIDAD POSITIVA	CONSECUENCIAS
PRODUCTOR A PRODUCTOR:	1. Las emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles en una central termoeléctrica, ocasionan la lluvia ácida, la cual causa daños a la agricultura siendo ésta la actividad principal de una región.	Efectos socioeconómicos. Al disminuir la productividad agrícola, se reducen los ingresos provenientes de esta actividad, por lo tanto se afecta la calidad de vida de la población. C3	1. La construcción de un proyecto hidroeléctrico podría generar efectos positivos socioeconómicos a la región. Por ejemplo, se podría incrementar el turismo, la construcción de infraestructura urbana y el comercio.	El principal beneficio de estos proyectos es la generación de energía eléctrica. Adicionalmente otros beneficios son: el control de avenidas, riego, recreación, fomento de la industria pesquera, turismo, comercio, los cuales contribuyen a mejorar la cal
PRODUCTOR A CONSUMIDOR:	2. El humo de una chimenea generado por una central eléctrica y otros contaminantes presentes en la atmósfera, causan efectos a la salud humana (irritación de los ojos, problemas respiratorios, asma, bronquitis, alergias).	Desmejoramiento de la calidad de vida de la población. Además se generan gastos médicos, hospitalarios, pérdida de días laborales y otros.	2. La construcción mejoramiento de vías, realizada por una central termoeléctrica, genera efectos positivos a las personas que viven en áreas cercanas.	Se incrementa el transporte y el comercio. Asimismo, se genera ahorro de tiempo para llegar al lugar de destino.
CONSUMIDOR A CONSUMIDOR:	3. El hurto de energía eléctrica, provocado por consumidores comerciales o residenciales ocasiona daños a los demás consumidores de energía.	Lo anterior puede ocasionar daños a electrodomésticos, equipos y afectar las actividades diarias.	3. La compra de equipos y dispositivos eléctricos eficientes puede contribuir a un ahorro en el consumo y por lo tanto una comunidad podría resultar beneficiada al disfrutar equitativamente el servicio.	Al ahorrar energía eléctrica, se podría suministrar energía eléctrica a una comunidad y por ende se realizarían las actividades cotidianas normalmente.
CONSUMIDOR A PRODUCTOR:	4. El hurto de energía eléctrica ocasionado por consumidores clandestinos, afecta al productor de energía, ocasionando incremento en los gastos por operación y mantenimiento y disminución del ingreso.	Se puede afectar la red por las variaciones en el voltaje.	4. El mejoramiento de vías realizada por un agricultor de una región dada, y cerca de allí está ubicada una central eléctrica, de esta forma contribuiría el agricultor a generar beneficios externos al productor de electricidad.	Se facilitaría el transporte y el desplazamiento en un menor tiempo a la central eléctrica.

**ANEXO B. CLASIFICACIÓN DE EJEMPLOS
DE EXTERNALIDAD POR FUENTE
CONVENCIONAL DE GENERACIÓN
ELÉCTRICA**

ANEXO B. COMPARACIÓN DE EXTERNALIDADES AL MEDIO AMBIENTE Y A LA SALUD HUMANA POR FUENTE CONVENCIONAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

EXTERNALIDAD 	RECEPTOR DE LA EXTERNALIDAD	AIRE	AGUA	SUELO	FLORA Y FAUNA ACUÁTICA	FLORA Y FAUNA SILVESTRE	SALUD	PAISAJE	BIENES INMUEBLES	CLIMA
	EFFECTOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CAUSAS										
1. Generación eléctrica fósil (combustión de carbón y gas natural).	Negativos	Daños a la calidad del aire por emisiones de NO _x , SO ₂ , CO, CO ₂ , PM, CH ₄ .	Acidificación del agua.	Acidificación del suelo.	Pérdida de la biodiversidad flora y fauna acuática.	Flora: daños a los bosques y reducción del número de especies. Fauna: envenenamiento de animales y reducción del número de especies.	Daños a la salud humana. Morbilidad: enfermedades respiratorias reducción de la calidad de vida. Morbilidad: disminución de la esperanza de vida de la población.	Daños al entorno estético por la contaminación química de la atmósfera.	Daños por corrosión: a materiales de construcción, a las construcciones arquitectónicas y a obras de arte.	Daños ocasionados por calentamiento global. Eventos climáticos extremos.
2. Generación eléctrica nuclear.	Negativos	Daños a la calidad del aire durante el proceso de explotación del uranio.	Contaminación térmica.	daño al suelo debido al almacenamiento de desechos radiactivos.	Reducción del número de especies acuáticas.	Flora: daños a los bosques y reducción del número de especies. Fauna. Disminución del número de especies.	Daños a la salud: cáncer y mutaciones genéticas.	-	-	-
3. Generación eléctrica hidráulica.	Negativos	Emisiones en menor magnitud de gases de efecto invernadero.	Alteración del ciclo hidrológico.	Cambio en el uso del suelo.	Daños por eutroficación a la diversidad de especies acuáticas.	Destrucción de fauna y flora silvestre.	Daños a la salud. Dengue, malaria y paludismo.	Daños al paisaje en la etapa del desarrollo del proyecto.	Daños por demolición de sitios arqueológicos, edificios y demás construcciones de interés.	Se puede afectar el microclima del lugar, debido a los cambios del régimen hidrológico.

**ANEXO C. EXTERNALIDADES EN LA
GENERACIÓN ELÉCTRICA POR
COMBUSTIBLES FÓSILES PAÍSES
DESARROLLADOS**

**ANEXO C. EXTERNALIDADES EN LA GENERACIÓN ELÉCTRICA POR COMBUSTIBLES FÓSILES
PAÍSES DESARROLLADOS**

AUTOR	PAÍS O REGIÓN	MÉTODO	COMBUSTIBLE	COSTO DE LA EXTERNALIDAD USD 1997/KWh	
				MÍNIMO	MÁXIMO
(Söderholm, et al., 2003)	Europa	Bottom-up	carbón combustóleo gas natural	0.03 0.03 0.016	0.04
(Nocker, et al., 1999)	Bélgica	Bottom-up	gas natural	0.00424	
(Sundqvist, 2004)	Alemania	Top-down	carbón	0.0035	0.0873
(Friedrich, et al., 1991) and (Friedrich, et al., 1993)					
(Ottinger, et al., 1991)	Estados Unidos	Top-down	carbón combustóleo gas natural	0.03676 0.03930 0.01015	0.08998 0.100375 0.01645
(Pearce, et al., 1992), and Pearce, et al., 1993)	UK	Top-down	carbón combustóleo gas natural	0.02711 0.13344 0.01066	0.14655
(Pearce, 1995)	UK	Top-down	carbón gas natural	0.0306 0.00497	
(Ott, 1997)	Suiza	Top-down	combustóleo gas natural	0.13172 0.08988	0.20890 0.13426
(Faaij, et al., 1998)	Holanda	Top-down	carbón	0.04042	
		Bottom-up		0.03899	
(ORNL&Rf1994-1998)	Estados Unidos	Bottom-up	carbón combustóleo gas natural	0.00111 0.00040 0.00010	0.00487 0.00324 0.00030
RER (1994)	Estados Unidos	Bottom-up	combustóleo gas natural	0.00030 0.00003	0.05900 0.00487
Comunidad Europea ExternE (1995)	UK/DE DE UK	Bottom-up	carbón	0.01	0.024
			combustóleo	0.30468	
			gas natural	0.00101	
Comunidad Europea ExternE (1999)	AT, BE, DK, FR, DE, GR, IT, NL, NO, PT, ES, UK	Bottom-up	gas natural	0.00256	0.116
	BE, FI, FR, DE, IE, NL, P T, ES, SE, UK		carbón	0.008	0.713
	FR, DE, GR, IT, UK		combustóleo	0.020	0.393
Madinsson (1999)	UK/DE	Bottom-up	carbón	0.00314	0.00721
	DE		combustóleo	0.00792	
	UK		gas natural	0.00132	
(Schleisner, 2000)					
ExternE, (Sheleisner Nielsen 1997)	Europa	Bottom-up	gas natural	0.0088	0.10026
IEA (ETSU, 1994) New York	New York	Bottom-up	carbón	0.000	0.0074
			carbón	0.0062	
			gas natural		
			NGCC	0.00075	0.00288
			gas natural IGCC	0.0022	0.0054
			gas natural	0.000	
			NGCC		
(Rowe, et al., 1995) US-EC	Estados Unidos	Bottom-up	carbón gas natural	0.0005 0.0001	0.0014 0.0003
(Varela, et al., 2002)	España	Bottom-up	combustóleo gas natural	0.05152 0.0199	
(Diakoulaki et al., 2000)	Grecia	Bottom-up	combustóleo gas natural	0.02983 0.00581	0.25147 0.09438
(Bloustein, 2004)	New Jersey	Bottom-up	carbón	0.18952	0.91589
			combustóleo	0.16666	0.54011
			gas natural	0.06239	0.17879

CONCLUSIONES

De los capítulos expuestos anteriormente se presentan las siguientes conclusiones:

- El estudio permitió conocer el estado del arte del tema de externalidades de la generación eléctrica con base en la revisión de la literatura científica internacional.
- La producción, transporte y distribución de energía eléctrica causa daño a una diversidad de receptores, reduciendo la calidad del aire, agua y suelo; incluyendo la salud humana.
- Las externalidades de la generación eléctrica varían considerablemente dependiendo del combustible y tecnología utilizada.
- Se identificaron los daños a cada fuente convencional de generación eléctrica (fósiles, nucleares e hidroeléctricas).
- Entre los principales daños asociadas al gas natural están: pérdidas humanas y lesiones durante la explotación y transporte del combustible. También, se ocasiona daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos, finalmente, daños ocasionados por calentamiento global.
- En cuanto a los daños identificados para el combustóleo están: durante la fase de extracción y transporte se ocasiona daño a los cuerpos de agua y pérdidas humanas. Durante la fase de generación eléctrica los daños se ocasionan al medio ambiente tales como daños a los bosques, flora y fauna acuática y terrestre, daños a las construcciones arquitectónicas. De igual modo, se ocasionan daños a la salud humana tales como enfermedades respiratorias y reducción de la esperanza de vida.

- Entre los daños relacionados al carbón están: durante la explotación del combustible se ocasionan pérdidas humanas, lesiones y enfermedades pulmonares. Durante la fase de generación los daños se asocian principalmente con daños a la salud humana y daños al medio ambiente por la deposición ácida.
- Los daños identificados en centrales nucleares son: peligro latente sobre la población debido a la incertidumbre en la seguridad del proceso de fisión, al manejo de los desechos radiactivos depositados, a la contaminación térmica que causa daños a la diversidad de especies acuáticas.
- Los daños asociados a las centrales hidráulicas son: el desplazamiento involuntario de poblaciones y las enfermedades de origen hídrico. También, se ocasionan daños al medio ambiente, pérdida de ecosistemas terrestres y acuáticos y daños a sitios arqueológicos.
- Los economistas confían en la disposición o la buena voluntad de pagar (WTP) o de aceptar una retribución (WTA) para los bienes que no tienen precio en el mercado. Para ello utilizan algunas técnicas como la valoración contingente, preferencia expresada, precios hedónicos, costo de viaje, entre otros. De esta manera, la teoría económica facilita un direccionamiento para evaluar las externalidades ambientales y proporciona las técnicas para hacer la estimación.
- Cuantificar las externalidades en términos monetarios no es fácil. Diversas investigaciones se han realizado, para establecer métodos y técnicas para valorar los bienes y servicios que no tienen un valor económico en el mercado. Aunque, dichos métodos y técnicas presentan un grado de incertidumbre, pueden ser de utilidad para la planeación de políticas energéticas.
- La estimación de la externalidad para el caso del gas natural es del orden de 123 millones de dólares anuales. Sin embargo, la estimación presenta un grado de incertidumbre debido a que se utilizó el método transferencia de beneficios de países con diferentes condiciones meteorológicas, demográficas y geográficas

- Las externalidades de la generación eléctrica fósil (combustóleo, carbón y gas natural) en México pueden ser del orden de 588 millones de dólares anuales. Este costo hace referencia a los daños ocasionados básicamente por los contaminantes atmosféricos SO_2 , NO_x y PM.
- los resultados de la valoración de las externalidades de la generación eléctrica pueden ser muy subjetivos, debido a las incertidumbres que se presentan. Algunas de ellas son: el criterio del autor para Interpretar los resultados, a la función dosis-respuesta para estimar los daños a la salud, a la aplicación de diversos y a la aplicación de modelos de transporte de contaminantes.
- La aplicación de los métodos aportan resultados que infieren que los encargados de la planeación energética dirijan sus objetivos a la implementación de programas que ayuden a reducir y controlar los niveles de concentración de emisiones tóxicas; todo esto con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población mexicana.

REFERENCIAS

- Arreguín Cortés Felipe I; Herrera Toledo Cesar; Marengo Mogollón Humberto; Soldán Córdova Paz (1999). El Desarrollo de las Presas en México. Asociación Mexicana de Hidráulica; Instituto Mexicano de Tecnología del Agua IMTA. Vol. 5. Primera Edición. ISBN, 968-7417-28-5. pp.224.
- Asa Karlsson, Gustavsson Leit (2003). External Costs and Taxes in Heat Supply Systems. Elsevier, Energy Policy 28. Vol14, pp.1541-1560. www.elsevier.com/locate/enpol.
- Baumol, W. Y W Oates (1982). La Teoría de la Política Económica del Medio Ambiente, Antoni Bosch, Barcelona, España, ISBN 84-85855-14-0, pp. 317.
- Bernow S.S; Marron D.B (1990). "The Tellus Report". Valuation of Environmental Externalities for Energy Planning and Operations, Tellus Institute Boston.
- Bernow, S., Biewald, R. and Marron, D (1991). Full-cost Dispatch: Incorporating Environmental Externalities in Electric System Operation the Electricity Journal 4, March; pp.20-33.
- Bhattacharyya, S. C., (1997). Full-cost Dispatch: Incorporating Environmental Externalities in Electric System Operation the Electricity Journal 4, March; pp.20-33.
- Bloustein Edward (2004). Impacts of Environmental Externalities upon Relative Costs of Renewable Technology & Impacts of the Deployment of Renewable Generation on the Market Price of Electricity. Discussion Paper Prepared For The New Jersey Clean Energy Council. The State University of New Jersey. Pp 8.
- Bojö Jan, Göran Mäler- Mass, Unemo Lena (1992). Environmental and Development: An Economic Approach. Published by Kluwer Academic Publishers, P.O. Box 173300 AA Dordrecht, and The Netherlands. ISBN: 0-7923-1878-1. pp.219.
- Bouille Daniel (1994). "Energía y Medio Ambiente: Algunos Aspectos Teóricos". pp. 211. IN: Bauer Ephrussi, Martínez Quintanilla Juan, Saíz de Bustamante Amalio (1994), Internalización de Costos Ambientales. Curso sobre Planificación Energética. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 968-36-4577-1, pp.228.
- Breceda Lapeyre Miguel Gerardo (1994). "Economía e Instrumentos Económicos para la Protección Ambiental, pp. 138. IN: Bauer Ephrussi, Martínez Quintanilla Juan, Saíz de Bustamante Amalio (1994), Internalización de Costos Ambientales. Curso sobre Planificación Energética. Universidad Nacional Autónoma de México. ISBN 968-36-4577-1, pp. 228.

- Call y Holahan (1985). Microeconomía, Grupo Editorial Iberoamérica, México: Grupo Editorial Iberoamérica, ISBN: 968727008X., pp. 575.
- Carlin John (2003), Environmental Externalities in Electric Power Markets: Acid Rain, Urban Ozone, and Climate Change. www.eia.doe.gov/cneaf/pubs_rea/feature1.html.
- Caselli, Mauricio (1998). La Contaminación Atmosférica. Quinta Edición. Siglo XXI Editores, S. A. de C. V, ISBN: 968-23-1800-9. Impreso en México, pp. 192.
- CEPEC (1999). Apuntes Sobre Evaluación Social de Proyectos. Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S. C. Primera Edición 1999, México D.F. pp.472.
- CEQ (1993). Council on Environmental Quality. Government Printing Office, Washington, DC, April (1995). Pp.435- 441.
- “CFE (2002). Informe de Operación 2001. Comisión Federal de Electricidad México, D. F. IN: Cálculo de Emisiones de Contaminación Atmosférica por uso de Combustibles Fósiles en el Sector Eléctrico Mexicano. IN: Samudra Massa, Luisa Molina, Mario Molina (2004). Massachusetts Institute of Technology. Pp. 24.
- CFE (2004). Comisión Federal de Electricidad. www.cfe.gob.mx
- CFE (2003). Comisión Federal de Electricidad. www.cfe.gob.mx
- Charpin, J.M, Dessus, B., Pellat, R., (2000). Etude Économique Prospective de la Filière Électrique Nucléaire. Report to the Prime Minister, Jestin-Fleury, N., Percebois J. (Rapporteur), Official Journal, La Documentation Francaise, París.
- Chernick Paul, Caverhill Emily (1989). The Valuation of Externalities from Energy Production, Delivery, and Use. Boston Gas Co., Filed With the Massachusetts Department of Public Utilities.
- Chernick Paul, Caverhill Emily (1990). Report to the Boston Gas Company on Including Externalities. pp 89-239. Boston, MA: Boston Gas Company.
- Coase, Ronald H., (1960) “El Problema del Costo Social “, Journal of law and Economics 3, 1960.
- Colonbo, U (1992). Development and the Global environment. In: Hollander, J.M. (Ed.), The Energy –Environmental Connection. Island Press, Washington, pp.3-14.
- Comunidad Europea (1998a). ExternE Externalities of Energy. Methodology Annexes. European Commission DGXII Science Research and Development JOULE, Luxembourg.

- Comunidad Europea, (1995^a). Externalities Of Fuel Cycles. European Commission, DG XII, Science, Research and Development, JOULE, ExternE Externalities of Energy. Vol 2. Methodology. European Commissions, Luxembourg, EUR 16521.
- Comunidad Europea, (1995^f). ExternE: Externalities of Energy (Vol.6: Wind&Hydro). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Cosmi, C; Machiato, L; Mangiamele,G; Marmo, Pietrapertosa, F; Salvia, M (2003).Environmental and Economic Effects of Renewable Energy Sources Use on a Local. Case Study. Energy Policy. Vol 31, pp. 443-457. www.elsevier.com/locate/enpol.
- Diakoulaki, D, S. Mirasgedis, M. Tziantzi (2000). Environmental Externalities and Development of Renewable Energy Sources. Laboratory of Industrial and Energy Economics Department of chemical Engineering, National Technical University of Athens, Zografou Campus, 15780 Grecia. De la:<http://soc.uoc.gr/calendar/2000EAERE/papers/PDF/F-4Diakoulaki.pdf>
- Dincer Ibrahim, (1999). Environmental Impacts of Energy. Energy Policy . Vol. 27, pp. 845-854. www.elsevier.com/locate/enpol.
- DOE (1995). Energy Information Administration. Electricity Generation and Environmental Externalities: case studies. USA, September. Department of Energy.
- DOE (2001).Life Cycle Analysis of a Shell Gasification Based- Multi- Product System with CO₂ Recovery, March 30, (2001).www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/carbon_seq/4b1.pdf.
- DOE (2005). IEA-DOE-GOV. United States of America. www.eia.doe.gov/emeu/cabs/usa.html-101k
- Drottz-Sjöberg, B-M Sjöberg, L (1994).Risk Perception and Worries After the Chernobyl Accident. Journal of Environmental Psychology. Vol. 10; pp.135-149.
- Eibenschutz, Juan (1994), El Ambiente y la Nucleoelectricidad.,IN: Bauer, et al., (1994). Internalización de Costos Ambientales. XII, Curso sobre Planificación Energética. Universidad Nacional Autónoma de México-Universidad Politécnica de Madrid. ISBN: 968-36-4577-1. México DF. Pp.228.
- Energy Information Administration (1993), Emissions of Greenhouse Gases in the United States: 1985-1990, DOE-EIA- 0573 (Washington, DC, September 1993).
- EPA.GOV.http://www.epa.gov/radiation/understand/health_effects.htm

- Euler H. (1984). Umweltverträglichkeit von Energiekonzepten, Planungsgrundlagen für die Erstellung von umweltorientierten örtlichen und regionalen Energieversorgungskonzepten, Bonn, In: Hohmeyer Olav, Ottinger Richard L, Rennings Klaus (1997). Social Costs and Sustainability: Valuation and Implementation in the Energy and Transport Sector. New York, Springer. ISBN: 3-540-60177-5, pp. 560.
- Eyre Nick (1997). External Costs, Elsevier, Energy policy. Vol 25, pp.85-95.
- Faaij, A., Meuleman, B., Turkenburg, W., Van Wijk., Bauen, A., Rosillo-Calle and Hall, D (1998). Externalities of Biomass Based Electricity Production Compared with Power Generation from Coal in the Netherlands. Biomass and Energy, Vol. 14, pp 125-147.
- Fernández José Carlos y García Mayela (2004), Marco Teórico y Práctico para el Análisis Económico de los Problemas de Conservación de los Recursos Naturales en México. Instituto Nacional de Ecología (INE). Consultado en: www.ine.gob.mx
- Fernández Valverde (2001). Hidrógeno como Energético para la Protección al Ambiente y a la Salud. Memorias del XIV Congreso Nacional Extraordinario del Sutin. Simposio Técnico Científico. Pp.63-66.
- Flores Berrones Raúl; Hristov Vassilev; Li Liu Xiangyue (2001). Geotecnia en Ingeniería de Presas. ISBN: 968-7417-91-9. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México, pp.583.
- Friedrich Rainer and Bickel Meter (2001). Estimation of External Costs Using the Impact-Pathway-Approach. Results from the ExternE project series. Institut für Energiesysteme und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart. University Stuttgart (Germany), September. Rainer.Friedrich@ier.uni-stuttgart.de
- Friedrich Rainer., Kallenbach, U., (1991). External Costs of Electricity Generation. IN: Hohmeyer O., Ottinger, R.L (Eds). External Environmental Costs of Electric Power: Analysis And Internalization. Springer, Berlin.
- Friedrich, Rainer., Voss, A., (1993). External Costs of Electricity Generation. Energy Policy, Vol.21, pp 114-122. www.elsevier.com/locate/enpol.
- Gagnon Luc, Bélanger Camilla, Uchiyama Yohji (2002). Life-cycle assessment of electricity generation options: The status of research in year 2001. Energy Policy Vol. 30, November. Pp 1267-1278. www.elsevier.com/locate/enpol.
- Glasstone Samuel, Jordan Walter H (1986). Nuclear Power and its Environmental Effects. American Nuclear Society. La Grange Park, Illinois. Printed in The United States of America. Pp.389.

- Goodstein Eban S (1995).Economics and the Environmental. Prentice-Hall, Inc. A Simon&Schuster Company, Englewood Cliffs, New Jersey. Published in the United of America. ISBN: 0-13-088766-8. pp.575.
- Hall, D.C., (1990).Preliminary Estimates of Cumulative Private and External Costs of Energy. Contemporary Policy Issues VII, pp 282-307.
- Hohmeyer O. (1988).Social Costs of Energy Consumption. Springer, Berlin, pp 126.
- Hohmeyer Olav, (1992).Renewable and The Full Costs of Energy. Energy Policy, April, Vol. 20, No. 4, pp.365-375. www.elsevier.com/locate/renene.
- Hohmeyer Olav, Ottinger Richard L, Rennings Klaus (1997).Social Costs and Sustainability: Valuation and Implementation in the Energy and Transport Sector. New York, Springer. ISBN: 3-540-60177-5, pp. 560.
- Holland, Mike (1994). Analysis of the External Costs of Fuel Cycles: An Introduction to the ExternE Study. Energy Technology Study Unit, UK, pp.162-191.IN: Bauer et al., (1994). Internalización de Costos Ambientales. XII, Curso sobre Planificación Energética. Universidad Nacional Autónoma de México-Universidad Politécnica de Madrid. ISBN: 968-36-4577-1. México DF. Pp.228.
- IEEE.SPECTRUM, (2001). Vol. 38, November, No.11, By Teklas. Perry Senior Editor. Pp.32, 33,34,37,42,44,48,52
- Imhof Aviva; Wong Susanne; Bosshard Peter (2000). Guía Ciudadana Sobre la Comisión Mundial de Presas. Publicado por Internacional Rivers Network / Red Internacional de Ríos, Berkeley, California, USA 2002-04-12. ISBN: 0-9718858-1-8. Editorial West assa Print Center.pp.58.
- INEGI, (1999), Estadística del Medio Ambiente, Tomo 1, INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, 540 pp.
- IPCC (2001), Tercer Informe de Evaluación completo (ciencia, impactos y economía), dado en abril de 2001 en una sesión Plenaria del IPCC en la sede del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente en Nairobi, Kenia.
- Islas Jorge; Manzini Fabio; Pérez Maria de Jesús; Grande Genice (2004). SO₂, NO_x, and Particle Control Technologies and Abatement Costs for the Mexican Electricity Sector. Centre for Energy Research (CIE), UNAM, CIE/A 040817/P3 August 2004, México.
- Jacobs, Michael (1996).La Economía Verde: Medio Ambiente, Desarrollo Sostenible y la Política del Futuro. ISBN: 8474262747, FUHEN-ICARIA, Barcelona, España, pp.431.
- James M, Griffin, and Harry B. Steele, Harry B, (1986).Energy Economics and Policy. 2nd Orlando, FL: Academic Press College Division.

- Johnson Anne Marie, Alvarez Ramón (2003). How Power Plants In U.S- Mexico Border Status Threaten Human Health and The Environmental. Environmental Defense, pp 6. www.environmentaldefense.org/documents/3116_pollutionwithoutBorbers.pdf.
- Joskow, P, L (1992). Weighing Environmental Externalities: Let's Do It Right. Electricity Journal. Mayo, pp.53-67.
- Karlsson Åsa, Gustavsson Leif, (2003). External Costs and Taxes in Heat Supply Systems. Energy Policy. Vol.31, pp.1541-1560. www.elsevier.com/locate/enpol
- Kaygusuz Kamil (2002). Hydropower and The World's Energy Future. Energy Sources, Vol. 26, ISSN: 0090-8312 print/1521-0510. Taylor&Francis. pp.215- 224
- Kordoy-El M.N; Badr M.A; Abed K.A; Ibrahim Said M.A (2002). Economical Evaluation of Electricity Generation Considering Externalities. Energy Policy. Vol. 25, pp.317-328, www.elsevier.com/locate/ecocon.
- Krewitt Wolfram; Heck Thomas; Trukenmüller; Friedrich Rainer (1999). Environmental Damage Costs From Fossil Electricity Generation in Germany and Europe. Energy Policy. Vol. 27, pp,173-183. www.elsevier.com/locate/ecocon
- Kuczera B; Forschungszentrum Karlsruhe (1999). On the Role and the Potencial "Lecornu Jacques, (1997). ICOLD Secretary General. Multi-Purpose Dams. <http://www.icold-cigb.org/zaro-2.htm>. Of Nuclear Power in Reducing Greenhouse Gas Emissions, pp.985-988. IN: Greenhouse Gas Technologies Riemer, Pierce; Eliason Baldur, Wokaun Alexander. ISBN: 0-08-043018-X, elsevier- Science. Pp.1205.
- Lezama José Luís (2001). El Medio Ambiente como Construcción Social: Reflexiones sobre la Contaminación del Aire en la Ciudad de México. Estudios Sociológicos del Colegio Médico. Vol. XIX, No. 56, mayo-agosto 2001, pp 325-338.
- Maddison, D., (1999). The Plausibility on the ExternE Estimates of the External Effects of Electricity Production (CSERGE Working Paper GEC 99-04). University College London and University of East Anglia.
- Marburguer, E.A (1986). Zur Ökonomischen Bewertung Gesundheitlicher Schaden Durch Luftverschmutzung, In: Hohmeyer O, (1988) Social Costs of Energy Consumption. Springer, Berlin, pp 126.
- Markandya, Anil (1997). Quantifying the Risks of Nuclear Electric Energy, Harvard Institute for International Development, Harvard University, Cambridge, MA 02138, USA. Pp. 137-160. In: Hohmeyer et al., 1997, Social Costs and Sustainability. Valuation and Implementation in the Energy and Transport Sector. ISBN- 3-540-60177-5. Springer- Verlag. Berlin Heidelberg New York, pp.560.

- Martín del Campo, Márquez Cecilia (2003). Potencial de la Energía Nucleoeléctrica para el Desarrollo Sustentable de México. Academia de Ingeniería, pp.32. México 4 de diciembre de 2003.
- Martín del Campo, Márquez Cecilia (2001). Apuntes de la asignatura Energía e Impacto Ambiental, Combustibles Fósiles, capítulo 5, pp.13. División de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. DF. Septiembre de 2001.
- Martin Jean Marie, (1994), Application of the Accounting Framework to the Environmental Impacts and Costs of the Coal and Nuclear Fuel Cycles, pp.26-56. In: Bauer et al., (1994). Internalización de Costos Ambientales. XII, Curso sobre Planificación Energética. Universidad Nacional Autónoma de México-Universidad Politécnica de Madrid. ISBN: 968-36-4577-1. México DF. Pp.228.
- Medema, Steven G (1995), Hardcover- March 1, the Legacy of Ronald Coase in Economic Analysis. Edited STEVEN G. MEDEMA. Vol 2 ISBN 1858980100, pp. 493.
- Méndez Morales, José Silvestre (1997), Fundamentos de Economía. Tercera Edición McGRAW-HILL INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de CV. México DF. Pp. 317.
- Miró Rocasolano, Pablo (2002), El teorema de Coase y sus Implicaciones Según el Problema del Costo Social. En Contribuciones a la Economía de Mercado, Virtudes e Inconvenientes, ISSN 1696-8360. Eumed. Net.: <http://www.eumed.net/cursecon/colaboraciones/Miro-Coase.htm>.
- Munksgaard Jesper, and Larsen Anders (1998). Socio-Economic Assessment of Wind Power Lessons from Denmark. Energy Policy. Vol. 26, pp.85-93. www.elsevier.com/locate/enpol
- Muñoz Villareal Carlos, González Martínez Ana Citlalic (2000). Economía Sociedad y Medio Ambiente, SEMARNAT; México D. F, pp.312.
- Nocker De, Leo ; Torfs Rudi ; Wouters Guido (1999). External Costs of Electricity Generation in Belgium and Lessons for Energy and CO2 Taxation Policies.pp.863- 988. In: Greenhouse Gas Technologies Riemer, Pierce; Eliason Baldur, Wokaun Alexander. ISBN: 0-08-043018-X, Elsevier- Science.pp.1205. 02138, USA. Pp. 137-160. IN: Hohmeyer et al., 1997, Social Costs and Sustainability. Valuation and Implementation in the Energy and Transport Sector. ISBN- 3-540-60177-5. Springer- Verlag. Berlin Heidelberg New York, pp.560.
- Norton, B., Costanza, R., Bishop, R, C., (1998). The Evolution of Preferences. Why Sobering Preferences May not Lead to Sustainable Policies and What to do About It. Ecological Economics, Vol. 24, pp.193-211.

- OCDE, (1997a). The World in 2020. Towards a New Global Age. IN: Muñoz Villarreal Carlos, González Martínez Ana Citlalic (2000). Economía Sociedad y Medio Ambiente, SEMARNAT; México D. F, pp.312.
- OECD (1997).Desarrollo Sustentable: Estrategias de la OECD para el siglo XXI. Editorial Marylin Yakowitz. ISBN: 92-64-45487-X. pp.196.
- OTA (1994). Office of Technology Assessment. Studies of the Environmental Costs of Electricity. September 1994. OTA-BP-ETI-134, (Washington, DC: U.S. Government Printing Office), ISBN: 0-16-045308-9, pp 177.
- Ott, W (1997). External Costs and External Price Addings in the Swiss Energy Sector, ECONCEPT, Zürich, Switzerland. IN: (Hohmeyer, et al., 1996). Social Costs and Sustainability, Springer Verlag, Berlin, ISBN: 3540601775, pp.560.
- Ottinger, R.L. Wooley, N.A. Robinson, D. R. Hodas and S. E. Babb, (1990). Environmental Costs of Electricity, Oceana Publications, Inc., New York.
- Pandey Rahul (2002). Energy Policy Modelling: Agenda for Developing Countries. Energy Policy. Vol.30, pp 97-106. www.elsevier.com/locate/enpol.
- Parfomak, P. W. (1997), Falling Generation Costs, Environmental Externalities and the Economics of Electricity Conservation. Energy Policy, Vol.25; pp845-860. www.elsevier.com/locate/enpol.
- Parkin Michael, Gerardo Esquivel (2001). Macroeconomía, 5 edición, México: Addison- Wesley. ISBN: 9684444419. Capítulo 18. Fallas de Mercado y Elección Pública. Pp. 399- 417. Capítulo 20. Las Externalidades el Medio Ambiente y el Conocimiento, pp. 445-462.
- Pearce, D (1993).Economic Values and the Natural World. Cambridge: The MIT Press. ISBN: 0262660849. pp. 143.
- Pearce, D. W., C. Bann, Georgiou S (1992), "The Pearce Report", The Social Costs of Fuel Cycles,HMSO,1992.
- Pearce, David William (1985). Economía Ambiental. ISBN: 968-16-1844-O, México, Fondo de Cultura Económica, pp.258.
- Percebios Jacques, (2003). The Peaceful Uses of Nuclear Energy: Technologies of the Front Back-Ends of the Fuel Cycle. Energy Policy. January, Vol. 31, pp. 101-108. www.elsevier.com/locate/enpol.
- POISE (2004-2013). Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico. Secretaria de Energía. www.sener.gob.mx
- Pruvencio Enrique (2000) "Potencial de Vinculación Económica y Ambiental en las Políticas Públicas para un Desarrollo Sustentable". Pp. 12. IN, Muñoz Villarreal Carlos, González Martínez Ana Citlalic (2000). Economía Sociedad y Medio Ambiente, SEMARNAT; México D. F, pp.312.

- Rodríguez Alonso Ángel M, (1994). "Nuevas Tecnologías de Generación Eléctrica y Medio Ambiente". In: Bauer et al., (1994). *Internalización de Costos Ambientales. XII, Curso sobre Planificación Energética*. Universidad Nacional Autónoma de México-Universidad Politécnica de Madrid. ISBN: 968-36-4577-1. México DF. Pp.228.
- Roth Ian F. Ambs Lawrence L, (2004). *Incorporating Externalities into a Full Costs Approach to Electric Power Generation Life-Cycle Costing*. Energy Policy, Elsevier. 29, pp.2125-2144.
- Rowe, R., Lang, C., Chestnut, L., Latimer, D., Rae, D., Bernow, S., White, D., (1995). *The New York Electricity Externality Study*. Oceana Publications, Dobbs Ferry, NY.
- Schleisner Lotte (2000). *Comparison of Methodologies for Externality Assessment*. Elsevier, Energy Policy, 28, pp. 1127-1136.
- Scheleisner Lotte (2005). *Investigation of Pricing Incentives in a Renewable Energy Strategy (Review of Externality Valuation)*, Tailandia. NEPO/DANCED, Riso Systems Analysis Departament, pp.23.
- SEMARNAT (2004). *Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) de la Organización de Naciones Unidas (ONU). Evaluación de las Externalidades Ambientales de la Generación Termoeléctrica en México*.
- SENER (2003). *Programa Energía y Medio Ambiente hacia el Desarrollo Sustentable Sener- SEMARNAT 2002*. Secretaria de Energía, México D. F. IN: *Cálculo de Emisiones de Contaminación Atmosférica por uso de Combustibles Fósiles en el Sector Eléctrico Mexicano*. Samudra Massa, Luisa Molina, Mario Molina (2004). Massachusetts Institute Of Technology. Pp. 24.
- Shuman, M., Cavanagh, R., (1992). *A Model Conservation and Electric Power Plan for the Pacific Northwest, Appendix 2: Environmental Costs*. NCAC, Seattle
- Söderholm Patrick, Sundqvist Thomas (2003). *Pricing Environmental Externalities in the Power Sector: Ethical Limits and Implications for Social Choice*. Energy Policy, Vol 46, pp. 333-350. www.elsevier.com/locate/ecocon.
- Spalding-Fecher Randall, Khorommbi Matibe (2003). *Electricity and Externalities in South Africa*. Energy Policy Vol. 31 pp. 721-734. www.elsevier.com/locate/enpol
- Sundqvist, Thomas (2000). *Electricity Externality Studies. ¿Do the Numbers Make Sence? (Tesis de Licenciatura)*. Luleå University of Technology, Luleå.
- Sundqvist, Thomas (2004) *¿What causes the Disparity of Electricity Externality Estimates?* Energy Policy, Vol.32, October 2004, pp.1753-1766. www.elsevier.com/locate/enpol

- Sundqvist, Thomas and Söderholm Patrick (2002). Valuing the Environmental Impacts of Electricity Generation: A Critical Survey. Luleå University of Technology, Division of Economics, S-971 87 Luleå, Sweden, and International Institute for Applied Systems Analysis, ECS, A-2361 Laxenburg, Austria. Published in Journal Literature, Vol. VIII, No. 2. pp.43.
- Tietenberg, Tom, (1992). Environmental and Natural Resource Economics. Harper Collins Publishers. New York. Pp.56.
- Turtós, Leonor (2003). Revisión de Metodologías Utilizadas para la Estimación de Externalidades, pp 57. Unidad de Energía de la Sede Subregional de la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) México.
- Varela Manuel, Lechón Yolanda, Cabal Helena, Sáez Rosa (2002). Externalidades Medioambientales de la Energía. Departamento de Energías Renovables Estudios Socioeconómicos y Medioambientales de la Energía (CIEMAT). Madrid España.
- Varela, Gustavo (2000). "Hacia una Política para Lograr el Desarrollo Sustentable en México", pp.34, IN: Economía, Sociedad y Medio Ambiente, SEMARNAT; México D. F, pp.312.
- Vignolo, Mario (2000). The Influence of Market Regulations in the Development of Distributed Generation. Proceedings 2nd International Symposium on DG, KTH, Estocolmo, Suecia, October de 2002, pp. 15.
- Vijay Samudra, Molina Luisa, Molina Mario (2004). Cálculo de Emisiones de Contaminación Atmosférica por uso de Combustibles Fósiles en el Sector Eléctrico Mexicano. Massachusetts Institute of Technology. Pp. 24.
- Viklund Mattias (2004). Energy Policy Options- From the Perspective of Public Attitudes and Risk Perceptions. Energy Policy. Vol. 32, pp.1159-1171. www.elsevier.com/locate/enpol.
- WCD, (2000). The Report of the World Commission on Dams. November, 16-2000.