

00881

7.29.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ECONOMIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

TESIS DOCTORAL

TECNOLOGIA, ENERGIA Y MEDIO AMBIENTE. Potencialidades y limitaciones internacionales para una reestructuración energética sostenible y retos para México

de la Concepción

Autor: Ramón Pichs Madruga

Asesor: Dr. Leonel Corona Treviño

México D.F., enero de 1998

Trabajo elaborado con una beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), de los Estados Unidos Mexicanos

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

12/18
25

1998



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.

***A Lil María,
mi pequeña hija***

Agradecimientos

Al Profesor Angel de la Vega Navarro, por sugerirme ingresar al Programa de Doctorado de la DEP-FE-UNAM y, además, por sus orientaciones en el tema de investigación y aporte de información bibliográfica.

Al Dr. Leonel Corona Treviño, Asesor de Tesis, por su contribución académica.

A los profesores integrantes de los jurados de evaluación, por sus comentarios y oportunas sugerencias.

A la Comunidad de la División de Estudios de Posgrado, Facultad de Economía, UNAM, por su acogida y colaboración.

Al Programa de Apoyo a las Divisiones de Estudios de Posgrado (PADEP), UNAM, por el apoyo brindado al proyecto.

A los funcionarios, empresarios y académicos mexicanos entrevistados, por el tiempo dedicado al proyecto y la valiosa información brindada.

A las familias Estay-Stange, Vázquez-Martínez y Montañana-Reyna, por su amistad y contribución solidaria.

A los colegas y amigos del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (Fabio Fajardo, Tomás Gutiérrez, Luis Paz, Roberto Acosta, Jorge Mario García y Herminia Serrano, entre otros), por su valiosa contribución a esta investigación y por considerarme como parte de su colectivo.

A los colegas y amigos de la Red Latinoamericana de Acción Climática (RELAC), especialmente a Eduardo Sanhueza, por permitirme una aproximación al tema desde la perspectiva de la sociedad civil en la región.

A Gladys, por su dedicación y entrega como compañera y esposa.

A mis padres, por su ejemplo de sencillez y constancia.

A Zelmys, por su amistad y ayuda.

A los compañeros y amigos del Centro de Investigaciones de la Economía Mundial de Cuba, por su confianza y apoyo.

Las virtudes que pueda tener este trabajo las debo, en gran medida, al esfuerzo de los que directa o indirectamente han contribuido a hacer realidad este proyecto; los defectos o errores son de mi entera responsabilidad.

INDICE GENERAL

Introducción	1
 Capítulo I	
El vínculo entre tecnología, energía y medio ambiente desde una perspectiva histórica	9
1.1. Cambio tecnológico e industrialización en las economías capitalistas. Consideraciones teóricas generales	9
1.1.1. La teoría acerca de las “ondas largas” en las economías capitalistas	11
1.1.2. La teoría acerca de los paradigmas tecno-económicos	16
1.2. La base energética de las sociedades preindustriales y del período industrial	26
1.3. Nuevo paradigma tecno-económico y nuevo paradigma energético versus deterioro ambiental	33
 Capítulo II	
Tecnología, energía y medio ambiente en el contexto actual	42
2.1. El debate internacional sobre medio ambiente y desarrollo	42
2.1.1. Consideraciones teóricas sobre el vínculo entre medio ambiente y desarrollo	42
2.1.2. Hacia una internacionalización del debate sobre medio ambiente y desarrollo	50
2.1.3. Medio ambiente y desarrollo en torno al eje Norte-Sur	56
2.2. Tecnologías energéticas y cambio climático	66
2.3. La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático	73

Capítulo III

Potencialidades y limitaciones internacionales para una reestructuración energética sostenible

84

3.1. Principales dimensiones de una reestructuración energética sostenible

84

3.1.1. Incremento de eficiencia energética

85

3.1.2. Fomento de fuentes energéticas renovables

88

3.1.3. Sustitución de carbón y petróleo por gas natural

92

3.2. Factores que potencian o limitan la reestructuración energética sostenible

93

3.2.1. Factores económicos e institucionales asociados a la evolución del mercado petrolero mundial

93

3.2.2. Factores que determinan el potencial económico y el potencial de mercado de la energía sostenible

103

3.2.3. Factores y consideraciones ambientales

114

Capítulo IV

Alcance y limitaciones de la reestructuración energética sostenible en los países desarrollados

120

4.1. Sustitución energética y fomento de fuentes renovables

121

4.1.1. Patrones regionales de la sustitución energética

122

4.1.2. El componente nuclear de la sustitución energética

125

4.1.3. Fomento de fuentes renovables

127

a) Las energías renovables en condiciones altos precios del petróleo (1973-85)

127

b) Las energías renovables en condiciones de precios petroleros deprimidos (1986-90s)

131

4.2. Ahorro y conservación de energía

135

4.2.1. Período 1973-85: los mayores progresos

136

4.2.2. Período 1986-97: las nuevas tendencias

140

a) Contexto norteamericano

143

b) Contexto europeo y japonés

147

Capítulo V

Problemas y opciones para una reestructuración energética sostenible en los países subdesarrollados

153

5.1. Vulnerabilidad tecnológica, crisis energética y deterioro ambiental. Generalidades

153

5.2. Sustitución energética y fomento de fuentes renovables	157
5.2.1. Alcance de la sustitución petrolera por grupos de países y regiones	157
5.2.2. El componente nuclear de la sustitución energética	162
5.2.3. Fomento de fuentes renovables	164
a) Alta dependencia de los combustibles tradicionales de la biomasa	165
b) Fuentes nuevas y renovables	167
5.3. Ahorro y conservación energética	173
 Capítulo VI	
Potencialidades y limitaciones para una reestructuración energética sostenible en México	183
6.1. Sustitución energética y fomento de fuentes renovables	183
6.1.1. Subutilización del potencial de energía renovable a escala nacional	186
6.1.2. Perfil de la pequeña empresa productora de tecnologías para el aprovechamiento de energías renovables	190
a) Caracterización general	191
b) Capacidad técnica, humana y financiera	193
c) Esfuerzo innovador y alianzas	196
d) Resultados de la innovación en las empresas	199
6.2. Intensidad energética y potencial de ahorro de energía	202
6.2.1. Evolución tendencial de la intensidad energética	203
6.2.2. Intensidad energética y potencial de ahorro por sectores	206
a) Sector industrial	206
b) Sector Transporte	209
c) Sector residencial, comercial y público	210
d) Sector agropecuario	213
6.2.3. Esfuerzos institucionales para fomentar el ahorro energético	214
a) La actividad de la Conae	215
b) La actividad del FIDE	217
c) Instrumentos de política para promover el ahorro de energía	221
6.3. Dimensión ambiental del perfil energético mexicano en relación al calentamiento global	223
6.3.1. Contribución de México a las emisiones de gases de efecto invernadero	224
6.3.2. Medidas de mitigación	226

Capítulo VII

Medición del grado de avance de la reestructuración energética sostenible a nivel internacional. Posición relativa de países y regiones 233

7.1. Composición del IANPE y ponderaciones utilizadas en su elaboración 234

7.2. Índices parciales utilizados en la elaboración del IANPE 239

7.2.1. Índice de Consumo de Gas (ICG) 239

7.2.2. Índice de Consumo de Energía Comercial No Fósil (IECNF) 244

7.2.3. Índice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible (IECES) 249

7.3. Agregación de los índices parciales. Cálculo del IANPE I y el IANPE II 256

7.3.1. Índice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético I (IANPE I) 256

7.3.2. Índice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético II (IANPE II) 260

7.4. Debilidades y fortalezas del procedimiento de medición propuesto 263

7.4.1. Limitaciones y debilidades del procedimiento de medición 263

7.4.2. Retos enfrentados y fortalezas del procedimiento de medición 265

Capítulo VIII

Conclusiones 268

ANEXOS 283

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 319

ABREVIATURAS MAS UTILIZADAS Y FACTORES DE CONVERSION 333

INDICE DE CUADROS, GRAFICOS Y TABLAS

Cuadro C1.1.	Cronología de los "ciclos largos" de Kondratieff.	11
Cuadro C1.2.	Cronología de las "ondas largas" de Schumpeter.	13
Cuadro C1.3.	Cronología de las "ondas largas" descritas por Freeman y Pérez (1988).	21
Tabla T2.1.	Principales emisores de CO ₂ proveniente de la actividad industrial, 1992.	70
Tabla T2.2.	Participación de la población mundial en el consumo de combustibles fósiles, 1995.	71
Gráfico G4.1.	Variación del aporte de fuentes energéticas comerciales en países desarrollados, 1973-85.	122
Gráfico G4.2.	Variación del aporte de fuentes energéticas comerciales en países desarrollados, 1985-94.	124
Tabla T4.1.	Generación de electricidad por fuentes en la OCDE, 1995.	128
Tabla T4.2.	Potencialidades de las fuentes renovables de energía en los EE.UU., 1994.	133
Gráfico G4.3.	Importaciones de energía comercial/exportaciones totales de mercancías en países desarrollados, 1973-93.	140
Tabla T5.1.	Disponibilidad de energía comercial per cápita por regiones, 1994.	154
Tabla T5.2.	Balance de energía primaria comercial en América Latina, 1971-93.	160
Tabla T5.3.	Participación de combustibles fósiles en los balances de energía comercial, por regiones, 1994.	161
Tabla T5.4.	Participación sectorial en la demanda final de energía de la OCDE y países subdesarrollados, 1993.	174
Tabla T5.5.	Ahorros potenciales en ramas industriales energointensivas de América Latina, 1994.	180
Tabla T6.1.	Producción total de energía y generación bruta de electricidad en México, 1995.	185
Tabla T6.2.	Clasificación de las pequeñas empresas de energía sostenible en México.	192
Tabla T6.3.	Contribución sectorial a las emisiones de gases de efecto invernadero en México, 1993.	225
Tabla T6.4.	Inversión en infraestructura y servicios ambientales en México, 1994-2000.	231
Tabla T7.1.	Factores que explican las ponderaciones básicas utilizadas en la construcción del IANPE.	235
Gráfico G7.1.	Índice primario de X ₁ .	241
Gráfico G7.2.	Índice primario de X ₂ .	242
Gráfico G7.3.	Índice parcial ICG.	244
Gráfico G7.4.	Índice primario de X ₃ .	246
Gráfico G7.5.	Índice primario de X ₄ .	247
Gráfico G7.6.	Índice parcial IECNF.	249
Gráfico G7.7.	Índice primario de X ₅ .	251
Gráfico G7.8.	Índice primario de X ₆ .	252
Gráfico G7.9.	Índice primario de X ₇ .	253
Gráfico G7.10.	Índice parcial IECES.	255
Tabla T7.2.	Primeras veinte posiciones en los cálculos del IANPE I.	256
Gráfico G7.11.	IANPE e IDH, 1993.	257
Gráfico G7.12.	Índice agregado IANPE I.	259
Gráfico G7.13.	Índice agregado IANPE II	262

Indice de anexos

I.1.	Marco temporal de los principales cambios en la base energética después de la Revolución Industrial Inglesa.	284
II.1.	Principales características de los gases de efecto invernadero.	285
II.2.	Emisiones brutas de CO ₂ procedentes del sector energético por regiones, 1985-2025.	286
III.1.	Precios del petróleo e intensidad energética mundial, 1973-96.	287
III.2.	Producción petrolera mundial, 1973-96.	287
III.3.	Producción petrolera mundial, excluyendo a la ex-URSS, 1973-96.	288
III.4.	Producción y consumo petrolero en la OCDE, 1972-95.	288
III.5.	Dinámica del consumo petrolero en la OCDE y en los países subdesarrollados no miembros de la OPEP, 1972-94.	289
III.6.	Intensidad petrolera en países de la OCDE y subdesarrollados no miembros de la OPEP, 1972-94.	289
IV.1.	Balance energético por regiones, 1950-94.	290
V.1.	Intensidad de energía comercial e intensidad energética total, por regiones, 1995.	291
VI.1.	Composición de la producción de energía primaria y de la generación de electricidad, por fuentes, en México, 1995.	292
VI.2.	Empresas de energía sostenible en México. Perfil de empleo.	293
VI.3.	Empresas de energía sostenible en México. Principales problemas que enfrenta la I-D.	294
VI.4.	Empresas de energía sostenible e instituciones de I-D afines en México. Evaluación de los vínculos.	295
VI.5.	Empresas de energía sostenible e instituciones de I-D afines en México. Factores que inhiben los vínculos academia-industria.	296
VI.6.	Empresas de energía sostenible e instituciones de I-D afines en México. Factores que potenciarían los vínculos academia-industria.	297
VI.7.	Empresas de energía sostenible en México. Aprovechamiento de los vínculos externos a la empresa.	298
VI.8.	Empresas de energía sostenible en México. Motivos para instalarse en las regiones donde radican.	299
VI.9.	Empresas de energía sostenible en México. Procedencia externa de las innovaciones y grado de vinculación de las empresas.	300
VI.10.	Empresas de energía sostenible en México. Principales problemas para ampliar sus mercados nacionales.	301
VI.11.	Empresas de energía sostenible en México. Índice de innovación (INDICO).	302
VI.12.	Empresas de energía sostenible en México. Desempeño innovador y principales variables explicatorias.	303
VI.13.	Empresas de energía sostenible en México. Consideraciones acerca de la variable ambiental.	304
VI.14.	Intensidad energética de México, 1980-95.	305
VII.1.	Índice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético I (IANPE-I).	306
VII.2.	Índice de Consumo de Gas (ICG).	308
VII.3.	Índice de Energía Comercial No Fósil (IECNF).	310
VII.4.	Índice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible (IECES).	312
VII.5.	Correlación entre el IANPE (I) y el IDH, 1993.	314
VII.6.	Índice de Energía Comercial Renovable (IECR).	315
VII.7.	Índice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético II (IANPE II).	317

Introducción

En las últimas décadas, debido a la creciente relevancia del tema ambiental y a la amplia difusión internacional de la tesis del desarrollo sostenible, en el sector de la energía ha comenzado a ganar fuerza, gradualmente, el debate acerca de la necesidad de una reestructuración energética sostenible (nuevo paradigma energético) a escala global, que tenga como pilares u objetivos centrales el incremento de la eficiencia energética y el fomento de las fuentes renovables de energía, aún en condiciones de bajos precios internacionales de los hidrocarburos.

En el debate internacional sobre medio ambiente y desarrollo, el vínculo entre energía y medio ambiente ocupa un lugar central ya que, entre otros impactos negativos, el sector energético ha sido identificado como la fuente más importante de los gases que contribuyen al efecto invernadero o calentamiento global.

Considerando las posibles afectaciones para la humanidad, que pudieran derivarse del reforzamiento del efecto invernadero, uno de los resultados de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), de Río de Janeiro, Brasil, 1992, fue la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que entró en vigor en abril de 1994¹. En este contexto, las medidas propuestas para mitigar o abatir el efecto invernadero han estado dirigidas, en lo fundamental, a modificar los actuales patrones de producción y consumo de energía.

A partir del vínculo existente entre tecnología, energía y medio ambiente, en este trabajo se evalúan, en líneas generales, las potencialidades y limitaciones internacionales para el ajuste a los patrones del nuevo paradigma energético; es decir, para el avance en el sentido de una reestructuración energética sostenible a escala global; y se dedica especial atención a los principales retos para México en este campo.

En esta investigación se sigue una perspectiva de análisis de largo plazo para el estudio del vínculo entre tecnología, energía y medio ambiente, lo que ha permitido retomar los puntos de vista de diversos autores acerca de las diferentes etapas en el

¹ A comienzos de diciembre de 1997 tuvo lugar la III Conferencia de las Partes de la CMNUCC.

desarrollo industrial del capitalismo, las formas específicas de producción y consumo de energía en cada una de esas etapas históricas y el efecto adverso acumulado del sector energético sobre el entorno.

El trabajo parte de reconocer que, visto desde una perspectiva histórica, existe un estrecho vínculo entre la evolución de las distintas formas de producir y consumir la energía y las diferentes fases en el desarrollo tecnológico de cada país. En determinadas circunstancias históricas, la variable energética (escasez o abundancia de energía) ha tenido un papel clave como punto de partida para explicar grandes transformaciones tecnológicas, que a su vez han tenido implicaciones ambientales significativas.

Una revisión preliminar de estudios internacionales sobre el tema permitió identificar importantes puntos de coincidencia entre la concepción teórica del "nuevo paradigma tecno-económico" y la del "nuevo paradigma energético". Las bases fundamentales del "nuevo paradigma energético", en lo relacionado con el incremento de la eficiencia energética y el fomento de las fuentes renovables de energía, parten de consideraciones ambientales y pudieran definirse como los patrones energéticos principales del "nuevo paradigma tecno-económico".

La concepción de los paradigmas tecno-económicos, desarrollada por autores como C. Freeman y C. Pérez, se refiere a cambios en los sistemas tecnológicos que implican una nueva y peculiar combinación de decisivas ventajas técnicas y económicas. En su opinión, cada paradigma tecno-económico cuenta con un factor clave, que actúa como centro de todo un sistema de innovaciones técnicas, sociales y administrativas, en rápida evolución.

En las condiciones del "nuevo paradigma tecno-económico", especialmente desde mediados de los años 70, la energía abundante y barata cede su lugar a la microelectrónica como factor clave, al tiempo que la información y el conocimiento pasan a ser la base articuladora del nuevo sistema de innovaciones técnicas, sociales y administrativas.

Por su parte, los autores que suscriben la concepción acerca del "nuevo paradigma energético" (Goldemberg, Johansson, Reddy y Williams), la definen como

un nuevo enfoque energético orientado hacia un desarrollo sostenible a nivel internacional.

En la actualidad, la relación entre tecnología, energía y medio ambiente tiene una clara expresión en el vínculo existente entre la presente ola de cambios tecnológicos a nivel internacional, la actual reestructuración energética mundial y el debate acerca del calentamiento global o efecto invernadero, sus posibles causas, tendencias, implicaciones previsibles y niveles de responsabilidad histórica de los distintos grupos de países.

El vínculo entre tecnología, energía y medio ambiente en el contexto actual presenta distintas dimensiones en los países desarrollados y subdesarrollados. Mientras los países industrializados cuentan con una capacidad tecnológica suficiente para emprender una reestructuración energética sostenible; la mayor parte de las naciones subdesarrolladas se mueven en un entorno de subdesarrollo tecnológico, crisis energética y deterioro ambiental. En general, en los países subdesarrollados el ajuste a los patrones del nuevo paradigma energético ha sido mucho más limitado que en los países altamente industrializados, debido básicamente a las restricciones tecnológicas y financieras que enfrentan estas economías.

En la definición del orden de causalidad entre subdesarrollo tecnológico, crisis energética y deterioro ambiental, debe considerarse que la condición de países subdesarrollados y la vulnerabilidad socioeconómica y tecnológica, inherente a tal condición, constituyen el elemento causal básico.

A los efectos de este trabajo, la definición de **crisis energética** no se refiere únicamente al peligro de agotamiento de los recursos de hidrocarburos del planeta, a diferencia de la forma en que fuera ampliamente difundido este concepto durante los años 70 y comienzos de los 80. En la presente investigación, la crisis energética, que afecta sobre todo a los países subdesarrollados, se analiza, en lo fundamental, como una crisis de los irracionales patrones de producción y consumo de energía que prevalecen en las condiciones del actual orden económico internacional, tanto en las relaciones entre países desarrollados y subdesarrollados como al interior de cada país. Además, este concepto no se limita solamente al petróleo, sino que abarca además a las restantes fuentes de energía y sus interrelaciones.

En el análisis relativo al **deterioro ambiental** global, se parte de la tesis aportada por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, en su informe "Nuestro Futuro Común" (1987), donde se considera al desarrollo sostenible como aquel desarrollo que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. El trabajo incluye un análisis crítico de la tesis del desarrollo sostenible ya que a pesar de la rápida aceptación y difusión de esta tesis, como expresión concentrada de una "forma de desarrollo" más humana y equitativa, la misma no está exenta de limitaciones.

Sobre la base del análisis histórico y de las concepciones teóricas antes referidas, se estructura el **núcleo de la investigación**, que consta de cuatro elementos centrales:

- definición de los principales componentes (pilares o patrones) de una reestructuración energética sostenible;
- identificación de las potencialidades y limitaciones internacionales para el avance en el sentido de los patrones antes referidos;
- presentación y análisis de los esfuerzos de distintos grupos de países seleccionados para avanzar en el sentido de una reestructuración energética sostenible. En esta parte se brinda especial atención al caso mexicano;
- medición aproximada del grado de avance logrado por diferentes países y regiones, en las direcciones que definen a la reestructuración energética sostenible.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados, se dividió el contenido de la investigación en ocho capítulos. En el **Capítulo I** se analiza el vínculo entre tecnología, energía y medio ambiente desde una perspectiva histórica. Luego de una presentación general sobre la concepción de los paradigmas tecno-económicos, como contribución a los estudios acerca de las "ondas largas" en el desarrollo capitalista; se analizan las bases energéticas de las sociedades preindustriales y del período posterior a la Revolución Industrial; y se concluye con una exposición de las dimensiones ambientales del nuevo paradigma tecno-económico/nuevo paradigma energético.

El **Capítulo II** está dedicado al debate más reciente sobre la relación entre tecnología, energía y medio ambiente. Se parte de una presentación de las

consideraciones teóricas generales sobre el vínculo entre medio ambiente y desarrollo; para luego incursionar en el actual proceso de internacionalización del debate sobre estos temas; y finalmente exponer la relación de causa-efecto existente entre las tecnologías energéticas y el efecto invernadero, así como el estado actual de las negociaciones internacionales en torno a la CMNUCC.

En el **Capítulo III** se desarrollan los dos primeros elementos del núcleo central de investigación. En efecto, en esta sección se definen las direcciones básicas de una reestructuración energética sostenible y se analizan las principales potencialidades y limitaciones para avanzar en el sentido indicado, a nivel internacional.

En lo relativo a los pilares de la reestructuración energética sostenible se destacan tres tendencias: el incremento de la eficiencia energética; el fomento de fuentes de energía no fósiles, particularmente las renovables; y la sustitución de carbón y petróleo por gas natural, como elemento de transición entre los actuales sistemas energéticos, altamente dependientes de los combustibles fósiles, y posibles sistemas futuros con una mayor presencia de las energías renovables.

En lo referente a los factores que potencian o limitan la reestructuración energética sostenible, se analizan, ante todo, los factores económicos e institucionales asociados a la evolución del mercado petrolero internacional, teniendo en cuenta que el petróleo es y seguirá siendo por algún tiempo el factor que determine los cambios y rijan las velocidades de la transición energética.

No debe olvidarse que, si bien los altos precios de los hidrocarburos, vigentes entre 1973 y 1985, favorecieron los esfuerzos por incrementar la eficiencia energética y la participación de las fuentes renovables en el balance energético mundial; la situación actual y previsible en ese mercado, caracterizada por niveles de precios moderados o relativamente bajos y por enfoques de mercado (corto plazo) en la administración de los sectores energéticos nacionales, tiende a desestimular el avance en el sentido de una reestructuración energética sostenible, con una perspectiva de largo plazo.

En el **Capítulo III** también se presentan algunas consideraciones acerca de otros factores técnicos, institucionales, ambientales, etc., que podrían acelerar o retardar el ajuste al nuevo paradigma energético a escala global.

Con los **Capítulos IV, V y VI**, queda cubierto el tercero de los elementos del núcleo de la investigación; es decir, el relacionado con la presentación y análisis de los esfuerzos de distintos grupos de países seleccionados para avanzar en el sentido de una reestructuración energética sostenible.

En el **Capítulo IV** se exponen con mayor amplitud las principales tendencias en el ajuste de las economías desarrolladas a los patrones del nuevo paradigma energético, destacándose las diferencias básicas entre los tres centros de poder económico más importantes: EE.UU., Europa Occidental y Japón.

El **Capítulo V** está dedicado a las potencialidades y limitaciones para una reestructuración energética sostenible en los países subdesarrollados, con particular referencia al entorno de subdesarrollo tecnológico, crisis energética y deterioro ambiental que afecta a la mayoría de estas naciones. No es objetivo de este trabajo analizar las economías de Europa del Este y la ex-URSS con igual grado de detalle que los países altamente desarrollados y subdesarrollados, de modo que las referencias a esa área geográfica son sólo esporádicas.

El **Capítulo VI** fue reservado para tratar el caso de México. En esta sección se analizan los principales desafíos que enfrenta el país en materia de energía sostenible, dedicando especial atención a tres aspectos básicos: fuentes renovables, ahorro y uso eficiente de la energía y perfil ambiental del sector energético en lo relacionado con el efecto invernadero.

En la sección dedicada a examinar la utilización de las fuentes renovables en México, se incluye un análisis de la situación actual (capacidades y limitaciones) de las pequeñas empresas productoras de tecnologías para el aprovechamiento de la energía renovable en el país. Este análisis se basa en una ronda de encuestas realizada durante el segundo semestre de 1996 a 25 pequeñas empresas de energía sostenible y 12 instituciones de I-D afines, como parte del Proyecto INDICO, del Área de Economía de la Ciencia y la Tecnología, de la División de Estudios de Posgrado, Facultad de Economía, UNAM.

La inclusión de este estudio microeconómico en el trabajo responde a la importancia que se le asigna a las pequeñas empresas de energía sostenible

(conectadas a la red de distribución o descentralizadas) en el contexto del nuevo paradigma energético.

Por último, el **Capítulo VII** cubre el cuarto y último elemento del núcleo de la investigación; es decir el relativo a la medición aproximada del grado de avance logrado por diferentes países y regiones, en las direcciones que definen a la reestructuración energética sostenible. En este capítulo se introduce el cálculo de un **Índice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético (IANPE)**, a partir del procesamiento de información del período 1973-93, disponible para 65 países.

La concepción y el cálculo del **IANPE**, con una metodología propia y el empleo de fórmulas ampliamente utilizadas en comparaciones internacionales, es uno de los aportes más importantes realizados en esta investigación, en un esfuerzo por cuantificar el progreso o retraso de los distintos países, con relación a las tendencias internacionales en materia de eficiencia energética y fomento de fuentes energéticas diferentes a los combustibles fósiles.

Este ejercicio de medición le confiere mayor solidez y coherencia a los argumentos presentados en los capítulos anteriores y permite captar con mayor precisión la ubicación relativa de México en el contexto internacional, en lo referido a los patrones de la reestructuración energética sostenible.

El **Capítulo VIII** tiene como propósito presentar algunas reflexiones finales y una síntesis de las principales conclusiones derivadas de esta investigación.

Si bien el trabajo hace referencia, en general, al vínculo entre tecnología, energía y medio ambiente, debe aclararse que la investigación se dedica especialmente al estudio de este vínculo en el contexto de las causas y propuestas de mitigación del fenómeno conocido como efecto invernadero o calentamiento global.

En otras palabras, las medidas de política energética que sugiere esta investigación están orientadas preferentemente a mitigar el efecto invernadero, aunque cabe apuntar que las acciones para enfrentar este problema ambiental también contribuyen a reducir el impacto de otros desafíos ecológicos derivados del sector energético como la contaminación urbana, el deterioro de la capa de ozono, la lluvia ácida, los problemas asociados al uso insustentable de los combustibles tradicionales de la biomasa en diversas regiones del Tercer Mundo, entre otros.

Dado el carácter estratégico del sector energético y las dimensiones que han alcanzado el debate teórico y las negociaciones internacionales en relación con el vínculo entre tecnología, energía y medio ambiente; el tratamiento del tema propuesto pudiera resultar de interés tanto desde el punto de vista académico, como en el proceso de toma de decisiones sobre el tema de la energía sostenible.

Capítulo I

El vínculo entre tecnología, energía y medio ambiente desde una perspectiva histórica

Visto desde una perspectiva histórica, existe un estrecho vínculo entre la evolución de las distintas formas de producción y consumo de energía y las diferentes fases del desarrollo tecnológico. En determinadas circunstancias históricas y países, la variable energética (escasez o abundancia de energía) ha tenido un papel clave como punto de partida para explicar grandes transformaciones tecnológicas.

Entre los autores que analizan los cambios tecnológicos con una perspectiva histórica (enfoque de largo plazo) y que dedican especial atención a la variable energética, cabe mencionar los casos de David S. Landes (1979), Carlo M. Cipolla (1976 y 1990), Lewis Mumford (1962), Nathan Rosenberg (1982), Robert Ayres (1983), Christopher Freeman-Carlota Pérez (1988) y Manuel Cazadero (1988 y 1995).

1.1. Cambio tecnológico e industrialización en las economías capitalistas. Consideraciones teóricas generales

Una de las diferencias más significativas en el enfoque de los autores que estudian los cambios tecnológicos con una perspectiva de largo plazo está dada por las distintas periodizaciones que utilizan para analizar la relación entre los cambios tecnológicos y el crecimiento económico después de la Revolución Industrial.

Cazadero (1988 y 1995) se incluye en la corriente de los autores que identifican una secuencia de "Revoluciones Industriales" después de 1780, a partir de considerar que si la "Primera Revolución Industrial" (1780-1910s) generó una sociedad nueva separada por una brecha insalvable de la existente en la época preindustrial, la "Segunda Revolución Industrial" (1910s-1970s), a su vez, produjo otra sociedad que quedaría separada de la que había generado la "Primera" por un abismo igualmente amplio y profundo, lo que hace suponer que igual cosa deberá ocurrir con la "Tercera" (a partir de los años 70) (Cazadero, 1995: 16). La concepción de las "Revoluciones

Industriales" como fenómenos planetarios explica en buena medida la adopción de esta periodización seguida por Cazadero.

Otros autores, parten de considerar que si bien la trascendencia social del proceso actual de desarrollo de las fuerzas productivas no puede ni debe ser minimizada, en modo alguno puede equiparse a la que tuvo la Revolución Industrial de fines del siglo XVIII y principios del siglo XIX (Monreal, 1988: 13-15). Este autor destaca que una de las características de la Revolución Industrial de hace 200 años fue la transformación revolucionaria de los instrumentos de trabajo, consolidándose a partir de ese momento la máquina como la base técnica de la producción capitalista. La máquina continúa siendo el fundamento técnico de la producción contemporánea y la producción maquinizada su tecnología característica.

Mumford (1962), por su parte, distingue tres grandes períodos históricos en el desarrollo de la máquina: la fase eotécnica (1000-1750), que corresponde a las sociedades preindustriales; la fase paleotécnica (1750-1850), referida al período de la Revolución Industrial en Inglaterra y la fase neotécnica que se inicia en 1850.

Cipolla (1976 y 1990) diferencia dos grandes períodos históricos: la Revolución Agrícola, que abarca un largo lapso de aproximadamente diez milenios a partir del fin de la cuarta glaciación; y la Revolución Industrial, que comienza con la Revolución Industrial en Inglaterra (1780-1850). En el período industrial, el autor ubica una segunda fase a partir del decenio de los años 70 del presente siglo.

Entre los intentos más recientes en el sentido de vincular las fluctuaciones de largo plazo en la economía mundial con los cambios en la tecnología en cada época histórica, se encuentra la teoría de Christopher Freeman y Carlota Pérez (1988) acerca de los paradigmas tecno-económicos, como parte de los estudios de la Universidad de Sussex (Reino Unido) acerca las "ondas largas" en las economías capitalistas.

1.1.1. La teoría acerca de las “ondas largas” en las economías capitalistas

Los estudios iniciales sobre las "ondas largas" en el desarrollo capitalista se remontan al siglo XIX y tuvieron como punto de partida la primera referencia al tema ofrecida por Hyde Clarke en 1847. Con posterioridad, diversos autores dedicaron especial atención al comportamiento a largo plazo de las economías capitalistas y, en esta dirección, se destacan los trabajos de Jevons, Parvus, Van Gelderen, De Wolf, Alfalion, Lenoir, Von Tugan-Baranowsky, K. Kaustky y L. Trotski; pero no es hasta la segunda década del presente siglo, a partir del conocimiento y difusión de la obra de Kondratieff, que esta teoría alcanza su madurez y sistematicidad (ver Maddison, 1982; y Corona, 1996).

Partiendo de sus estudios sobre la evolución de las economías de EE.UU., Gran Bretaña y Francia en el período comprendido entre 1770 y 1920-29, Kondratieff identifica tres tipos de ciclos: largos (de 50 años), medios (de 7 a 10 años) y cortos (de 3 a 4 años); y concluyó que los "ciclos largos" son un fenómeno internacional. Este autor señaló que en el período considerado habían existido tres “ciclos largos”, cada uno con dos fases: alza y baja, como se observa en el **cuadro C1.1**.

Cuadro C1.1
Cronología de los "ciclos largos" de Kondratieff

Ciclos	Alza	Baja
Primero	1780-90 a 1810-17	1810-17 a 1844-51
Segundo	1844-51 a 1870-75	1870-75 a 1890-96
Tercero	1890-96 a 1914-20	1914-20 a ???

Fuente: Ver Maddison (1982: 95); y Cazadero (1995: 204).

Según Kondratieff, en los inicios de un "ciclo largo" ocurren profundos cambios en las condiciones de la vida económica de la sociedad, que se expresan en grandes innovaciones (grandes inversiones) y en cambios en los factores monetarios (oferta de dinero); mientras que en la fase de descenso existe un gran número de descubrimientos e inventos técnicos, que regularmente no se emplean hasta el

ascenso del ciclo siguiente. Considera, por tanto, al cambio tecnológico como una variable endógena al proceso económico.

En la crítica de Trotski a Kondratieff, a comienzos de los años 20, uno de los blancos principales fue la denominación de "ciclos largos" ya que Trotski consideraba que no existía una causa endógena al sistema capitalista que asegurase cierta regularidad en la recurrencia de las "ondas largas".

Entre las principales limitaciones de los trabajos de Kondratieff, se destaca la ausencia de explicaciones causales razonables acerca de los "ciclos largos" en el desarrollo capitalista, como un fenómeno sistemático. Si bien identificó ciertos factores que influyen en el desenvolvimiento de los "ciclos" capitalistas, tales como los cambios en la técnica, las guerras y revoluciones, la apertura de nuevos países a la economía mundial, el descubrimiento de minas y el aumento en la producción de oro; tales evidencias no fueron argumentadas estadísticamente, quedando sólo a nivel de hipótesis explicativas.

A pesar de las limitaciones de su análisis, se considera que el aporte de Kondratieff a la teoría de las "ondas largas" fue significativo, en tanto ofreció el esquema tricíclico, que fue desarrollado posteriormente por J. Schumpeter, y una técnica estadística que fue retomada por Kuznets en los años 30, en el estudio de los llamados "movimientos seculares secundarios" de la economía norteamericana.

Luego de Kondratieff, otro momento importante en la teoría de las "ondas largas" fue la obra de J.A. Schumpeter (1883-1950), que aportó un sistema de ciclos de máxima complejidad, donde cada "onda larga" de 50 años de Kondratieff incluye seis ciclos "Juglar" (de 8 a 9 años), y cada uno de éstos incluye a su vez tres ciclos "Kitchin" (de 40 meses).

Entre las ideas básicas de Schumpeter se destacan el significativo papel de la innovación y del empresario innovador en la explicación de las "ondas largas". En efecto, consideraba que cada "onda larga" representa un repunte de la innovación y del dinamismo empresarial, al tiempo que se refería a las depresiones como un aspecto necesario de la realidad capitalista, por constituir períodos de "destrucción creadora".

A la tasa de cambio tecnológico constante, característica de la escuela neoclásica, Schumpeter contrapuso las discontinuidades causadas por nuevas combinaciones de materiales y fuerzas productivas, lo que le permitió definir las innovaciones asociadas a nuevos productos, nuevos métodos productivos, apertura de nuevos mercados, conquista de nuevas fuentes de materias primas y nuevas formas de organización.

Para este autor, en la base de las "ondas largas" se encuentran las innovaciones tecnológicas sucesivas u ondas de "destrucción creadora", que condicionan nuevas inversiones asociadas con la difusión de una o varias tecnologías mayores. Es decir, se destaca la discontinuidad de las innovaciones y su aparición en forma de racimos; pero no se explica los factores que condicionan que dichas innovaciones se presenten en forma de ondas regulares.

La cronología de las "ondas largas" de Schumpeter es bastante similar a la de Kondratieff, aunque le asignó un nombre a cada una de las oscilaciones y las dividió en cuatro fases, en lugar de dos, como se observa en el **cuadro C1.2**.

Cuadro C1.2
Cronología de las "ondas largas" de Schumpeter

Ondas largas	Prosperidad	Recesión	Depresión	Reactivación
I. Revolución Industrial	1787-1800	1801-1813	1814-1827	1828-1842
II. Burguesa	1843-1857	1858-1869	1870-1885	1886-1897
III. Neomercantilista	1898-1911	1912-1925	1925-1939	???

Notas:

I. Revolución Industrial/Kondratieff (textiles de algodón, hierro y fuerza de vapor).

II. Burguesa/Kondratieff (construcción ferroviaria).

III. Neomercantilista/Kondratieff (electricidad, automóviles y productos químicos).

Fuente: Ver Maddison (1982: 103).

Después de los aportes de Schumpeter, la teoría acerca de las "ondas largas" quedó prácticamente sin cambios hasta que fuera revivida en los años 70, luego de dos decenios de expansión económica capitalista, en que se consideraban obsoletas las teorías referidas tanto a las "ondas largas", como al ciclo económico.

Tomando como base las ideas de Kondratieff y Schumpeter, autores como C. Freeman, C. Pérez y G. Mensh retoman el planteamiento del "enjambre de innovaciones" como origen de las fluctuaciones económicas de largo plazo; mientras que otros economistas como R. Rostow y Forrester analizan las "ondas largas" sobre la base de interrelaciones sectoriales. En este contexto, también se incorpora el aporte de E. Mandel y F. Braudel¹, entre otros.

G. Mensh, considerado como uno de los nuevos schumpeterianos, define tres tipos de innovaciones: básicas, incrementales y pseudoinnovaciones; y propone un modelo de cambio estructural basado en una serie de curvas de tipo "S". La curva "S" refleja cómo la aparición de innovaciones básicas da paso a las innovaciones incrementales y luego, durante el estancamiento de la industria en cuestión, se producen las pseudoinnovaciones. El salto de una curva "S" a otra se define como "metamorfosis tecnológica".

A diferencia de Schumpeter, que considera el enjambre de innovaciones básicas como motor del crecimiento de la fase expansiva; para Mensh el racimo de innovaciones emerge en la fase depresiva ante la falta de alternativas de los empresarios, y en esta fase se reduce el tiempo que transcurre entre invención e innovación. Mientras que para Schumpeter la dinámica del cambio se asocia al "espíritu emprendedor del empresario", para Mensh se deriva del "estancamiento tecnológico" que cataliza las innovaciones.

En el modelo de "metamorfosis tecnológica" de Mensh, el cambio estructural de largo plazo es un proceso en que la economía se expande y la base tecnológica se transforma mediante la difusión de nuevos productos y procesos; sin embargo, algunos críticos de su obra le señalan la ausencia de la dicotomía líder-seguidor, que resulta fundamental en el análisis de la difusión de las innovaciones.

Por su parte, Mandel (1986), con referencia a autores como Parvus, Kautsky, Van Gelderen y Trótski, destaca que la teoría de las "ondas largas" en la historia de la economía capitalista es de origen claramente marxista, aunque reconoce que los

¹ La obra de Braudel, que identifica "ondas largas" de hasta 200 años, ha sido retomada por otros autores que pretenden detectar la existencia de tendencias seculares u "ondas largas" más amplias a las que detectara Kondratieff o el propio Braudel (ver Dos Santos, 1997).

autores marxistas han abandonado en gran medida esta línea de investigación. En su opinión, cualquier teoría marxista de las "ondas largas" sólo puede ser una teoría de la acumulación de capital, una teoría de la tasa de ganancia.

Según este autor, el análisis marxista generalmente ha situado el movimiento de la tasa media de ganancia en dos marcos temporales diferentes: el ciclo industrial y el ciclo vital del sistema capitalista. Se trataría por tanto de intercalar un tercer marco temporal, que considera la existencia de las "ondas largas".

Siguiendo la línea de pensamiento de Trotski, Mandel critica el uso del término "ciclos largos" para designar a las oscilaciones de larga duración, por considerar que a diferencia de los ciclos clásicos, que responden a la dinámica esencial del funcionamiento de las economías capitalistas, las "ondas largas" obedecen a un complejo conjunto de factores determinantes y no tienen el mismo carácter necesario.

De esta forma, Mandel rechaza la tesis de Kondratieff referida a que el capitalismo de alguna manera es capaz de restablecer más o menos automáticamente su equilibrio, una vez que este ha quedado roto por una "onda larga" de signo depresivo. En este sentido, Mandel apunta que no existe ninguna lógica interna automática del capitalismo que pueda conducir de una fase depresiva a una expansiva, por lo que se requiere de factores exógenos ("conmociones del sistema"), que garanticen este paso. En su criterio, la lógica interna de las leyes del movimiento capitalista sólo pueden explicar la naturaleza acumulativa de cada "onda larga" y la transición de la fase expansiva a la depresiva.

Freeman y Pérez (1988: 38-66), destacan que el objetivo de su teoría acerca de los paradigmas tecno-económicos está relacionado con el interés por revitalizar el análisis de las fluctuaciones de largo plazo en el crecimiento de la economía mundial, así como la teoría schumpeteriana de los ciclos de negocios. Estos autores señalan que una de las mayores debilidades de la mayoría de las teorías neoclásicas y keynesianas sobre el cambio tecnológico y el crecimiento económico es que no han tomado en cuenta las especificidades de las transformaciones tecnológicas en cada período histórico.

1.1.2. La teoría acerca de los paradigmas tecno-económicos

Según Freeman y Pérez, las fluctuaciones de largo plazo en el desarrollo económico no pueden explicarse simplemente en los términos de las teorías convencionales acerca de los ciclos de negocios de corto y largo plazo, sino que requieren una dimensión adicional de análisis por tratarse de períodos históricos que incluyen la aparición de nuevas tecnologías, el surgimiento y desaparición de industrias, grandes inversiones en infraestructura, cambios en la localización internacional de la industria y en el liderazgo tecnológico, así como transformaciones estructurales en los perfiles de calificación, en la composición de la fuerza de trabajo y en la estructura administrativa de las empresas.

Freeman y Pérez (1988) aportan una taxonomía de las innovaciones, donde se distinguen cuatro elementos básicos: 1) innovaciones incrementales, 2) innovaciones radicales, 3) nuevos sistemas tecnológicos y 4) cambio en los paradigmas tecno-económicos.

Como **innovaciones incrementales** son clasificadas aquellas que ocurren casi continuamente en cualquier industria o actividad de servicios, aunque con un ritmo diferente en cada lugar, en dependencia de una combinación de presiones de demanda, factores socio-culturales, oportunidades y trayectorias tecnológicas.

Estas innovaciones incrementales ocurren frecuentemente no como resultado de una actividad deliberada de I-D, sino como resultado de invenciones y mejoras sugeridas por ingenieros y otras personas directamente vinculadas al proceso de producción o como resultado de iniciativas y propuestas de los consumidores. Tales prácticas se asocian a los conocidos conceptos de "aprender haciendo" (*"learning by doing"*) y "aprender usando" (*"learning by using"*); y por medio de ellas, se tiende a mejorar significativamente la eficiencia en el uso de los factores de producción.

Por su parte, las **innovaciones radicales**, serían aquellas que implican discontinuidad (saltos) y que en los últimos tiempos han resultado con frecuencia de actividades deliberadas de I-D en empresas, universidades o laboratorios gubernamentales. Este tipo de innovaciones se distribuye de forma desigual entre

sectores y en el tiempo, y constituyen un punto de partida para el crecimiento de nuevos mercados y el surgimiento de nuevas inversiones.

En ocasiones, puede tratarse de innovaciones radicales, que combinan productos, procesos y aspectos organizacionales. En un período de varias décadas las innovaciones radicales pueden tener efectos significativos en términos de cambios estructurales, pero su impacto económico agregado sería relativamente pequeño y localizado, a menos que se interrelacione un conjunto de innovaciones radicales y den lugar a nuevas industrias y servicios.

Los **cambios de sistemas tecnológicos** son definidos como transformaciones de gran alcance en la tecnología que afectan a varias ramas de la economía y dan vida a nuevos sectores. Se basan en una combinación de innovaciones radicales e incrementales con innovaciones administrativas y organizacionales.

Finalmente, se considera que los **cambios en el paradigma tecno-económico o "revoluciones tecnológicas"** tienen efectos que influyen en el comportamiento de toda la economía; es decir, no sólo se condiciona el surgimiento de nuevos productos, servicios, sistemas e industrias, sino que afecta directa o indirectamente a casi todas las ramas económicas. Transformaciones de esta naturaleza incluyen diversos conjuntos de innovaciones radicales e incrementales y pudieran abarcar numerosos sistemas tecnológicos nuevos.

Se utiliza la denominación de "paradigma tecno-económico", en lugar de paradigma tecnológico porque los cambios que tienen lugar van más allá de las trayectorias ingenieriles de productos y procesos específicos y afectan tanto las estructuras de costos de los insumos, como las condiciones de producción y distribución, a través del sistema. Una vez establecido un paradigma tecno-económico, pasa a ser un régimen tecnológico para varias décadas.

Como resultado del cambio, se produce un salto en la productividad potencial para toda o la mayor parte de la economía y se abren amplias oportunidades de inversión y ganancias. El cambio de paradigmas implica una nueva y peculiar combinación de decisivas ventajas económicas y técnicas.

La concepción schumpeteriana de los "ciclos largos" y "explosiones de destrucción creadora" es entendida por estos autores como una sucesión de paradigmas tecno-económicos asociados con una estructura institucional característica, que sólo emerge luego de un arduo proceso de cambio estructural.

Según Freeman y Pérez, un nuevo paradigma tecno-económico se desarrolla inicialmente dentro del viejo paradigma, mostrando sus ventajas decisivas en los nuevos sectores en rápido crecimiento, durante la fase depresiva del paradigma anterior, y se hace dominante sólo después de una crisis de ajuste estructural que involucra profundos cambios institucionales y sociales y un reemplazo de las ramas líderes de la economía. No existe posibilidad de que un nuevo paradigma desplace al viejo hasta que el nuevo haya demostrado claramente sus ventajas.

En cada nuevo paradigma tecno-económico un insumo particular o grupo de insumos, que se conoce como **factor clave** de ese régimen tecnológico debe cumplir las siguientes condiciones:

- bajo costo y tendencia decreciente del mismo;
- aparentemente ilimitada disponibilidad de oferta durante largos períodos;
- claro potencial para su uso o incorporación en muchos productos y procesos en el sistema económico;
- debe encontrarse en la base de un sistema de innovaciones técnicas y organizativas, claramente reconocidas como capaces de cambiar el perfil y reducir los costos del equipamiento, de la mano de obra y de los productos (**Pérez, 1986; Freeman y Pérez, 1988**).

El nuevo factor clave no aparece como un factor aislado, sino como centro de un sistema en rápido crecimiento de innovaciones técnicas, sociales y administrativas; algunas relacionadas con la producción del insumo en cuestión y otras con su utilización.

Los insumos identificados como factor o factores clave se encuentran en uso mucho antes de que el nuevo paradigma se desarrolle; sin embargo sólo se reconoce su potencial cuando el factor clave anterior y su constelación de tecnologías asociadas comienzan a dar muestras de agotamiento y de disminución de sus posibilidades para

asegurar incrementos ulteriores de la productividad o para nuevas inversiones rentables.

En opinión de los autores, existen fuertes factores económicos y sociales que actúan primero como freno y luego como fuerzas desencadenantes del cambio. Las externalidades que favorecen la difusión y generalización del paradigma prevaleciente tienden a frenar el cambio durante un período de tiempo prolongado. Solamente, cuando la productividad a lo largo de las viejas trayectorias muestran límites persistentes al ulterior crecimiento y cuando las futuras ganancias están seriamente amenazadas, es entonces que los altos riesgos y costos de probar nuevas tecnologías aparecen claramente justificadas.

Un nuevo paradigma tecno-económico emerge gradualmente, como un nuevo tipo ideal de organización productiva. Además de revelar un gran potencial para incrementar la productividad y ampliar las oportunidades de inversión, el nuevo paradigma provoca un cambio radical, tanto desde el punto de vista ingenieril como administrativo.

Los efectos de la nueva constelación tecnológica, una vez cristalizada, va más allá del factor o factores clave y del cambio técnico en sí mismo y condiciona una reestructuración de todo el proceso productivo que incluye:

- una nueva forma práctica de organización en la firma y en la planta;
- nuevos perfiles de calificación y habilidades de la fuerza de trabajo que afectan tanto la calidad y cantidad de trabajo como los patrones de distribución del ingreso;
- una nueva mezcla de productos, donde resultan más atractivos aquellos productos y servicios que hacen un uso más intensivo del insumo considerado como factor clave;
- nuevas tendencias en las innovaciones radicales e incrementales dirigidas a sustituir el uso de insumos más costosos por un uso más intensivo del factor o factores claves;
- nuevos patrones de localización de la inversión tanto nacional como internacionalmente, en la medida en que el cambio en la estructura de los costos relativos transforma las ventajas comparativas;

- una ola particular de inversiones en infraestructura diseñada para proveer las externalidades apropiadas para facilitar el uso de los nuevos productos y procesos;
- una tendencia hacia la entrada de las pequeñas firmas de tipo innovador en las nuevas ramas económicas en rápida expansión;
- una tendencia a que las grandes firmas se concentren (bien por la vía del crecimiento o de la diversificación) en aquellas ramas de la economía en que el factor clave es más intensamente producido o usado, que son las ramas fundamentales del paradigma en cuestión;
- nuevo patrón de consumo de bienes y servicios y nuevos tipos de distribución y conducta de los consumidores (Freeman y Pérez, 1988: 59).

Partiendo de esas consideraciones, los autores destacan que el período de transición (fase depresiva de la "onda larga") se caracteriza por un cambio estructural profundo en la esfera económica y que tales cambios requieren una transformación igualmente profunda de la estructura social e institucional; es decir un reacomodo a gran escala de la conducta social y las instituciones a tono con las transformaciones tecno-económicas que han tenido lugar.

Cuando este reacomodo ocurre, el nuevo "acoplamiento" entre los cambios tecno-económicos y la estructura socio-institucional facilita el advenimiento de la fase expansiva de la "onda larga". Como el logro de un buen acoplamiento es un proceso complejo y conflictivo, que tiene lugar de forma muy desigual en diferentes contextos políticos y culturales nacionales, tal situación puede ejercer una considerable influencia sobre los patrones cambiantes del liderazgo tecnológico internacional y los patrones internacionales de difusión.

En el análisis de Mandel (1986) sobre las "ondas largas" en la evolución de la economía capitalista, desde un punto de vista marxista, las fases de signo expansivo son períodos en los que las fuerzas que operan contra la tendencia a la caída de la tasa media de ganancia actúan con fuerza y de forma sincronizada; mientras que las fases de signo depresivo son períodos en que dichas fuerzas son débiles, más escasas y menos sincronizadas. Como se expuso anteriormente, este autor concede

particular importancia a los factores exógenos ("conmociones del sistema") en la explicación de los ascensos bruscos de la tasa media de ganancia.

Para ilustrar su teoría acerca de los paradigmas tecno-económicos, Freeman y Pérez se basan en la descripción de cinco "ondas largas", desde la Revolución Industrial en Inglaterra, es decir desde los años 70 del siglo XVIII, siguiendo el esquema de los "ciclos largos" de Kondratieff, como muestra el **cuadro C1.3**.

Cuadro C1.3

Cronología de las "ondas largas" descritas por Freeman y Pérez (1988)

Ondas largas	Periodización
Primera	1770s-1780s a 1830s-1840s
Segunda	1830s-1840s a 1880s-1890s
Tercera	1880s-1890s a 1930s-1940s
Cuarta	1930s-1940s a 1980s-1990s
Quinta	1980s-1990s a ???

Fuente: Freeman y Pérez (1988: 50-57)

Cada uno de estos períodos históricos incluye una fase expansiva y una depresiva, que están muy relacionadas con la evolución del **factor clave** en cada una de ellas.

En la presentación de su teoría, Freeman y Pérez se detienen particularmente en la comparación entre la cuarta "onda larga" y la actual. La fase expansiva de la cuarta "onda larga" incluye al período comprendido entre finales de la Segunda Guerra Mundial y comienzos del decenio de 1970, y el factor clave de ese régimen tecnológico fue la energía (petróleo) barata, que desde inicios de los 70 comenzó a dar señales de agotamiento y a revelar las limitaciones de su potencial para asegurar inversiones rentables en el futuro.

A diferencia de algunos autores como Heilbroner (1995) que consideran como causa de la recesión económica actual la falta de un "agente transformacional", como lo fue el automóvil en los años 20; para Freeman y Pérez, en las condiciones del nuevo paradigma tecno-económico (quinta "onda larga"), la energía abundante y barata cede su lugar a la microelectrónica como factor clave, al tiempo que la

información y el conocimiento pasan a ser la base articuladora del nuevo sistema de innovaciones técnicas, sociales y organizativas.

Partiendo de estas realidades, sobre todo a partir de la creciente importancia de las innovaciones tecnológicas y del conocimiento como ventajas comparativas dinámicas a nivel internacional, desde mediados de los años 80 han comenzado a difundirse las llamadas **nuevas teorías del crecimiento**, o teorías del crecimiento endógeno, que tienen entre sus máximos exponentes a autores como R. Lucas, P. Romer, Rebelo, entre otros.

La aparición de estas nuevas teorías del crecimiento ha estado condicionada por la insatisfacción con los modelos tradicionales de crecimiento, basados preferentemente en el esquema de Solow, de mediados de los años 50, que no aporta explicación alguna acerca de las causas del cambio tecnológico (cambio tecnológico como variable exógena). No obstante, debe apuntarse que el análisis de las limitaciones de la teoría tradicional del crecimiento, por parte de distintos autores, antecede al surgimiento de las "nuevas" teorías antes mencionadas.

En el esquema teórico de las "nuevas teorías del crecimiento", se hace particular énfasis en el papel del capital humano como factor (acumulable) de crecimiento. Boltho y Holtham (1995) identifican dos tipos de modelos entre las nuevas teorías de crecimiento: por un lado, se hace referencia al esquema de P. Romer, en que la acumulación de capital eleva la eficiencia de la economía por la vía del aprendizaje ("*learning by doing*") y, por otro lado, el segundo tipo de modelos se basa en la existencia de un factor (acumulable) de crecimiento específico (capital humano o reservas de I-D), que eleva la productividad total de los factores de producción.

Resulta importante destacar que estos modelos dejan a un lado las fluctuaciones económicas y asumen que la economía sigue un curso caracterizado por el pleno empleo del trabajo y la completa utilización de las capacidades, lo que pone en serias dudas la utilidad de estas teorías para analizar la realidad capitalista actual. Según Kurz y Salvadori (1995), estas teorías basadas en el funcionamiento de la Ley de los Mercados de Say, carecen de un apropiado análisis del proceso de inversión actual.

Si bien se pueden extraer o inferir ciertas implicaciones de política de los nuevos modelos de crecimiento, por ejemplo, en relación con los requerimientos de intervenciones gubernamentales para elevar la inversión en I-D y fomentar el capital humano; se aprecia una significativa renuencia de los autores a presentar conclusiones claras y definidas en esta materia, lo que revela la opinión de dichos autores acerca de que la intervención estatal distorsiona la eficiencia del sistema económico.

Para Freeman y Pérez, los profundos problemas estructurales asociados al actual cambio de paradigmas resultan evidentes en todas partes del planeta, sobre todo en términos de un agudo y persistente déficit de trabajadores con las calificaciones de alto nivel que requiere la nueva tecnología y de la existencia de grandes capacidades subutilizadas en las viejas industrias intensivas en el uso de energía tales como acero, petróleo y petroquímica. En este contexto, los autores abogan por cambios sociales e institucionales acorde con los requerimientos de despliegue de la onda expansiva del paradigma de las tecnologías de la información.

El enfoque de Freeman y Pérez enfatiza la respuesta del sistema socioeconómico e institucional a grandes cambios en el precio de los nuevos insumos y nuevas tecnologías. Una vez que la nueva tecnología es ampliamente adoptada el cambio es irreversible.

Como ha podido apreciarse, la teoría de Freeman y Pérez acerca de los paradigmas tecno-económicos aporta una perspectiva de largo plazo para el análisis del cambio tecnológico, que está ausente tanto en la escuela keynesiana como en la corriente neoclásica. La periodización que se ofrece para el estudio de las principales transformaciones tecnológicas, que han ocurrido en el modo de producción capitalista, desde la Revolución Industrial en Inglaterra, facilita el análisis del impetuoso desarrollo de las fuerzas productivas en este largo período de la historia de la humanidad.

De igual forma, la taxonomía de las innovaciones que aportan los autores constituye un valioso instrumento para los estudiosos del cambio tecnológico, en tanto permite analizar distintos momentos en el proceso de surgimiento y difusión de las innovaciones.

Además, la idea de identificar en cada etapa histórica un factor (insumo) o grupo de factores que constituyen el elemento clave para las transformaciones tecnológicas que se llevan cabo, constituye un elemento de gran utilidad para distinguir las sucesivas constelaciones tecnológicas, que sin dudas han caracterizado la evolución de las fuerzas productivas en la historia del capitalismo.

Sin embargo, Freeman y Pérez no aportan una idea acabada acerca del condicionamiento social del cambio tecnológico y la presencia de factores socio-políticos, como causas del cambio tecnológico, es totalmente secundaria en esta teoría. Los aspectos de índole social, política e institucional son considerados, en el mejor de los casos, como externalidades que contribuyen a acelerar o retardar el cambio.

Si bien a cada paradigma tecno-económico se le hace corresponder una determinada estructura social, administrativa e institucional, tales estructuras se configuran bajo el impacto de las nuevas tecnologías. La absolutización de la idea de que la revolución microelectrónica está causando la aparición de una forma de sociedad está presente, en gran medida, en estos autores.

Cabe reconocer, que a la hora de especificar las condiciones que debe cumplir un insumo o conjunto de insumos para asumir el rol de factor clave, se mencionan tres elementos que revelan objetivos económicos en el sentido de reducir costos, aumentar las ganancias e incrementar la productividad del trabajo. Aquí queda una vez más demostrado que el razonamiento tecnológico y el económico suelen ser inseparables. Sin embargo, no debe olvidarse que las consideraciones económicas no son el único factor a considerar como condicionante del cambio tecnológico (**ver Mackenzie y Wajcman, 1985**).

No se aprecia en esta teoría una amplia referencia explícita a las relaciones sociales de producción en el modo de producción capitalista, ni a la forma en que la lucha de clases, que caracteriza a ese sistema, condiciona, en alto grado, al cambio tecnológico. No obstante, en C. Pérez encontramos la siguiente idea general: "Pero no se trata de un mero determinismo tecnológico. Lo que un paradigma establece es el amplio espacio de lo posible. Dentro de él las fuerzas sociales escenifican las

confrontaciones, experimentos institucionales y arreglos de compromiso o cooperación, cuyo resultado es el marco que en última instancia moldea, orienta, selecciona y regula el curso definitivo que asumirá el nuevo potencial" (Pérez, 1986: 57-58).

En esta dirección, cabe apuntar que el desarrollo de la tecnología no es unidireccional, sino que siempre existe un conjunto de alternativas, que sirven de base para la elección tecnológica por parte de aquellas personas con poder para llevar a cabo dicha selección, de acuerdo con sus intereses de clase (ver Schoijet, 1994).

Debe tenerse en cuenta, que tanto la ciencia como la tecnología expresan procesos sociales ya que no sólo contribuyen a la transformación de la sociedad, sino que son transformados a su vez bajo la acción de fuerzas sociales. Como señala Monreal (1988), el desarrollo de la tecnología no se produce en un entorno social vacío, sino bajo la influencia directa de las relaciones sociales de producción, que establecen determinados imperativos al desarrollo de la tecnología. Según Mandel (1986) el determinismo económico mecanicista le atribuye una especie de poder ilimitado al capital para alcanzar sus objetivos históricos.

Rosenberg (1982) apunta que las distintas etapas en el desarrollo capitalista han sido respuestas a un universo creciente de oportunidades para hacer ganancias. Este autor destaca, en la obra de Marx, el análisis dialéctico de la naturaleza del cambio histórico; donde la dinámica básica de la historia humana se presenta como resultado de la interacción dialéctica entre fuerzas productivas y relaciones sociales de producción.

En esta investigación, que no pretende hacer un análisis exhaustivo de la teoría de las "ondas largas", se reconoce la utilidad de la teoría acerca de los paradigmas tecno-económicos en el análisis del vínculo entre tecnología, energía y medio ambiente, con una perspectiva de largo plazo; y sin olvidar sus limitaciones, se utiliza en gran medida como referencia teórica. En cuanto a la relación energía-tecnología-medio ambiente, Freeman y Pérez destacan el papel del carbón y el petróleo como factores claves de la segunda y cuarta "ondas largas", respectivamente; y además

hacen particular referencia a las potencialidades y limitaciones del sector energético en el contexto de la actual revolución tecnológica.

1.2. La base energética de las sociedades preindustriales y del período industrial

A los efectos de este trabajo, se distinguen dos grandes períodos históricos: etapa preindustrial (básicamente entre 1000 y 1780) y etapa industrial, que se inicia con la Revolución Industrial en Inglaterra en 1780-1850 y llega hasta nuestros días. La etapa industrial se dividiría en tres grandes lapsos históricos, atendiendo a los cambios ocurridos en la base energética, según la periodización de Cazadero (1995):

- "Primera Revolución Industrial": 1780 a 1910s

- "Segunda Revolución Industrial": 1910s a 1970s

- "Tercera Revolución Industrial": 1970s a ???

Obsérvese (**Anexo I.1**), que cada una de estas "Revoluciones industriales" incluyen aproximadamente a dos de las "ondas largas" definidas por Freeman y Pérez (1988).

La única diferencia básica con el enfoque de Cazadero se refiere a que en este trabajo no se concede magnitud de "Revoluciones Industriales", equiparables a la "Primera", a ninguna de las revoluciones posteriores, lo que se explica por nuestra aceptación de que, ciertamente, la nueva base técnica surgida con la Revolución Industrial en Inglaterra no se ha logrado sustituir desde entonces, a pesar de las significativas transformaciones tecnológicas experimentadas en el presente siglo.

No debe interpretarse, a partir de este enfoque, que este trabajo pretende analizar el proceso de industrialización y de transformaciones tecnológicas ocurridas después de la Revolución Industrial en Inglaterra como un proceso lineal. Todo lo contrario, se reconocen elementos de continuidad (base técnica) y ruptura en este período histórico.

Con relación al vínculo entre energía y tecnología, si bien algunos de los autores antes mencionados difieren en las periodizaciones que utilizan en sus trabajos, un rasgo común de los mismos es el reconocimiento de que, históricamente, la transición de una fuente de energía a otra ha estado relacionada con los cambios

tecnológicos ocurridos en los distintos periodos históricos; es decir, que cada fase del desarrollo de las máquinas y de la sociedad ha tenido sus formas específicas de producir y utilizar la energía. Como expresara Landes (1979), la historia de la energía es la historia de la industrialización.

Mumford (1962) se basa en las fuentes de energía y en ciertos materiales característicos como criterio fundamental para diferenciar las distintas etapas en el desarrollo de las máquinas. En su opinión, la fase eotécnica (1000-1750) descansó en la energía del agua y la madera, la fase paleotécnica (1750-1850) en el carbón y el hierro y la fase neotécnica (después de 1850) en la electricidad y las aleaciones.

Cipolla en sus estudios de las **sociedades preindustriales**, destaca que el período de aproximadamente diez milenios que separó a la Revolución Agrícola de la Revolución Industrial se caracterizó por un gran número de descubrimientos e innovaciones que aumentaron el control humano sobre las fuentes de energía. "Tales adelantos aumentaron la eficiencia con que el hombre aprovechaba la energía de sus propios músculos, así como la de los convertidores vegetales y animales" (Cipolla, 1990: 47 y 51).

Según estimaciones de este autor, entre el 80% y el 85% de la energía total obtenida en cualquier momento anterior a la Revolución Industrial debió tener su origen en las plantas, los animales y el hombre. Como es de suponer, esta situación imponía límites a la posible expansión del suministro energético en las sociedades agrícolas del pasado, donde la disponibilidad de tierra determinaba, en última instancia, tales límites.

La madera fue la fuente de energía más importante en que se basó el desarrollo tecnológico entre el año 1000 y el comienzo de la Revolución Industrial. Si bien la energía del agua y el viento tuvieron cierto aporte en esa etapa, este fue limitado. En general la oferta de energía registraba una alta dependencia de las condiciones ambientales.

Los distintos autores consultados coinciden en destacar el papel clave que, en determinadas circunstancias históricas, ha tenido la variable energética, como punto de partida para explicar grandes transformaciones tecnológicas.

La severa escasez de madera en Europa y la crisis energética a ella asociada se incluyen entre los factores que aceleraron el advenimiento de la Revolución Industrial. Con la Revolución Industrial, se crearon condiciones para la explotación en gran escala de nuevas fuentes de energía por medio de convertidores inanimados y el carbón pasó a ser un elemento estratégico.

Una parte significativa de las innovaciones llevadas a cabo durante la Revolución Industrial en Inglaterra estuvieron asociadas con la introducción de nuevas técnicas para la explotación de la nueva fuente de energía (carbón mineral). En efecto, la aparición y perfeccionamiento de la máquina de vapor respondieron, en alto grado, a los requerimientos de una tecnología que permitiese el drenaje de las minas de carbón. Como señalara Landes (1979), el carbón y el vapor no hicieron la Revolución Industrial, pero permitieron su extraordinario desarrollo y difusión.

El carbón y el hierro fueron los pivotes, a partir de los cuales se desarrolló la nueva civilización. La sustitución de la madera y el carbón vegetal por carbón mineral permitió el desarrollo de tecnologías metalúrgicas mucho más eficientes en cuanto a la utilización de la energía, lo que constituyó un aspecto central de la **"Primera Revolución Industrial"**.

Además, la introducción del carbón como nueva fuente de energía redujo considerablemente el impacto de las condiciones ambientales sobre el desarrollo industrial ya que, a diferencia del agua y el viento, el carbón puede extraerse con anterioridad al momento de su consumo. La producción mundial de carbón se incrementó de unos 15 millones de toneladas (MT) en 1800 a cerca de 132 MT en 1860 y para el año 1900 esta cifra ascendía a 701 MT (Cipolla, 1990: 59). Mumford (1962) definió a este período como "capitalismo carbonífero".

El análisis de Cipolla (1990) resulta particularmente claro en relación con el vínculo entre energía y desarrollo, al señalar que el extraordinario crecimiento de la energía disponible estimuló el crecimiento económico, que a su vez actuó como estímulo para la educación y la investigación científica, las cuales llevaron al descubrimiento de nuevas fuentes de energía.

Inglaterra completó virtualmente su transición energética de la madera al carbón mineral hacia 1800; sin embargo, en el caso de los EE.UU. este tránsito ocurrió con posterioridad ya que en este segundo caso la madera fue considerada como un recurso energético abundante y barato hasta mediados del siglo XIX.

Con el advenimiento del siglo XX se da paso a la llamada **"Segunda Revolución Industrial"**, donde el carbón comienza a ceder su lugar central en el balance energético a favor del petróleo y la electricidad. Como señala Cazadero (1995), en las nuevas condiciones, el petróleo y la electricidad no sólo serían las principales fuentes de energía sino que se convirtieron, en virtud de sus características especiales, en la condición indispensable para el funcionamiento de la nueva estructura económica.

Por un lado, el petróleo, debido a su gran versatilidad como fuente primaria de energía, posibilitó la amplia utilización del motor de combustión interna, sobre todo en los distintos medios de transporte. Hasta el año 1900, la fuente principal del petróleo importado por Europa fueron los EE.UU., luego la zona del Cáucaso devino una fuente alternativa y hacia 1908 el Medio Oriente, particularmente Irak y Kuwait, emergieron como la principal cuenca petrolera, fuertemente controlada por las firmas británicas y norteamericanas. Durante las seis primeras décadas del presente siglo el papel del petróleo en el balance energético mundial creció rápidamente, particularmente después de la Segunda Guerra Mundial.

Por otro lado, la electricidad como nueva forma de energía (secundaria) permitió una amplia gama de opciones en el suministro de luz, calor y movimiento, debido a la exclusividad con que combina las características de transmisibilidad y flexibilidad. La utilización a gran escala de la electricidad significó un cambio revolucionario para la industria ya que implicó importantes cambios en la localización y concentración de las industrias, la organización de las plantas productivas, así como en los servicios e instituciones interrelacionadas. Como explica Landes (1979), la electricidad liberó a la máquina y a la herramienta de su sujeción a un lugar concreto y le dio a la energía un carácter omnipresente, es decir la puso al alcance de todo el mundo.

Los progresos en la electrificación comenzaron a acelerarse después de 1895 debido al desarrollo de sistemas de distribución de energía eléctrica a grandes distancias por las compañías alemanas, suizas y norteamericanas. La introducción de los motores eléctricos en las plantas productivas quedó casi concluida en 1929 y los costos de la electricidad mostraban una rápida reducción, como consecuencia de una mayor eficiencia. Además, durante los años 20 comenzó la acelerada introducción al mercado de equipos electrodomésticos (ver Ayres, 1983).

En lo concerniente al motor de combustión interna, el centro de la actividad tecnológica se trasladó de Inglaterra a Francia y luego a Alemania, después de 1860. En el caso de Alemania, la escasez de energía sirvió de estímulo para el desarrollo de motores de combustión interna más eficientes y de combustibles sintéticos. Los logros de Alemania en estas esferas fueron posibles debido a la existencia de un alto grado de educación y de un programa de investigación industrial bien definido en el país.

Como han reflejado los diversos autores consultados, durante las dos primeras "Revoluciones Industriales" la escasez de determinadas fuentes de energía o su elevado precio devinieron importantes factores de estímulo para los procesos innovadores en Europa, a diferencia de los EE.UU. En este último país las innovaciones inducidas por escasez de energía fueron realmente escasas en ese período, debido a la abundancia de recursos energéticos de que disponía este país.

El rápido crecimiento de la producción y el consumo de petróleo después de 1945 debe ser analizado en el contexto de las transformaciones económicas y tecnológicas ocurridas durante la segunda posguerra. En este período, la industria pesada pasó a ser la rama económica líder y el petróleo el **factor clave** de ese paradigma tecno-económico.

Según Freeman y Pérez (1988), el régimen tecnológico que predominó durante la segunda posguerra estaba basado en el petróleo barato y en materiales intensivos en energía (particularmente petroquímicos y productos sintéticos) y estuvo liderado por las grandes compañías que controlaban la producción de petróleo, productos químicos, automóviles y otros bienes de consumo durables de producción masiva.

El petróleo pasó a ser el factor clave del paradigma tecno-económico correspondiente a la fase expansiva de la cuarta "onda larga" (1930s-1940s a 1980s-1990s). Estos autores destacan que el petróleo (en este caso), al igual que los factores clave de los paradigmas tecno-económicos anteriores, no se presentaba como un insumo aislado, sino más bien como el centro de un sistema de innovaciones técnicas, sociales y administrativas en rápido crecimiento, donde algunas de estas innovaciones estarían relacionadas con la producción del factor clave y otras con su utilización.

Algunos autores como Tietenberg (1976) destacan que durante este período de bajos precios de la energía se produjeron cambios significativos en el proceso de producción ya que la energía se convirtió en un sustituto crecientemente atractivo de otros insumos, particularmente "trabajo", lo que provocó un cambio en los precios de producción relativos a favor de los productos intensivos en energía.

Las políticas energéticas de Europa Occidental y Japón después de la Segunda Guerra Mundial estuvieron determinadas en gran medida por los intereses de las compañías petroleras y del gobierno de los EE.UU. La alta dependencia que registraban Europa Occidental y Japón de la ayuda norteamericana para la reconstrucción (Plan Marshall) explica en alto grado la amplia difusión que tuvieron en estos países los patrones tecnológicos norteamericanos basados en la utilización intensiva de petróleo.

Esto explica lo que Cazadero (1995) califica como la motorización masiva de la sociedad en Europa Occidental y Japón después de 1950. En 1950 todavía el carbón representaba cerca del 85% del balance energético de Europa Occidental y Japón y las proporciones correspondientes a los hidrocarburos eran 12% y 5%, respectivamente; veinte años después la participación del carbón había caído hasta 34% en Europa y 25% en Japón, mientras que los hidrocarburos incrementaron sustancialmente su aporte a 57% en Europa y 71% en Japón (ver OPEC, 1995).

Estos patrones energéticos basados en el consumo intensivo de petróleo también fueron transferidos hacia los países subdesarrollados como parte de los flujos de transferencias de tecnologías Norte-Sur. La participación del petróleo en el balance

energético de los países subdesarrollados no miembros de la OPEP pasó de 46% en 1950 a 62% en 1973.

En resumen, hasta comienzos de los años 70 la estrecha correspondencia entre los crecientes requerimientos energéticos y el crecimiento económico fue siempre considerada como uno de los elementos básicos de la vida industrial. Como destacara Rosenberg (1982) el uso creciente de energía reflejaba una alta correlación con el progreso de la industrialización, al igual que las mayores tasas de acumulación del capital, la educación creciente, la urbanización y la reducción de la mortalidad infantil.

Este punto de vista es calificado por Reddy (1990) como enfoque energético convencional, según el cual para incrementar el PIB no existe más opción que incrementar los insumos de energía. No obstante, cabe apuntar que después de la abrupta elevación de los precios del petróleo en 1973-74, estos patrones tecnológicos intensivos en energía han cambiado considerablemente, particularmente en el mundo desarrollado.

Desde comienzos de los años 70, en el contexto de la llamada **"Tercera Revolución Industrial"**, la reducción de los costos de la energía ha sido considerado como un factor crucial para minimizar los costos totales de producción. En este contexto se ha pasado del consumo intensivo de energía a la adopción de programas de ahorro y conservación energética, particularmente en los países altamente industrializados.

A partir de los llamados *"shocks"* petroleros de 1973-74 y 1979-81, diversos autores comenzaron a considerar a la energía, explícitamente, como un factor relevante en la función de producción neoclásica, y se referían a la necesidad de reducir la intensidad energética (ver Schurr, et. al., 1979).

Como señala García Silva en Ominami (1986: 143), el proceso de diversificación respecto al petróleo y la mayor eficiencia en el uso de la energía se habrían producido de cualquier manera, pues respondían a factores más profundos que tenían que ver, entre otras cosas, con la evolución tecnológica de largo plazo en el

propio sector energético; pero, sin dudas, los altos precios del petróleo catalizaron este proceso.

En estas condiciones, la energía barata (particularmente petróleo) y la constelación tecnológica a ella asociada comenzaron a dar señales de agotamiento y a revelar las limitaciones de su potencial para asegurar inversiones rentables en el futuro. Por tanto, comienza a abrirse paso la **microelectrónica** como factor clave del nuevo paradigma tecno-económico (el paradigma de las tecnologías de la información, según Freeman y Pérez).

1.3. Nuevo paradigma tecno-económico y nuevo paradigma energético versus deterioro ambiental

En el paradigma tecno-económico precedente, el papel líder lo ocupaban, como se mencionó antes, las grandes compañías petroleras, químicas, automovilísticas y otras productoras de bienes durables en serie; el tipo ideal de organización productiva a nivel de planta era la línea de ensamblaje de producción continua, que producía unidades idénticas de forma masiva; el tipo ideal de firma era la corporación, con una compleja estructura jerárquica y administrativa separada de la producción, que incluía las operaciones de I-D; se demandaba gran cantidad de trabajadores de nivel medio; y se requería una infraestructura compuesta por grandes redes de carreteras y autopistas, estaciones, aeropuertos, etc. financiados básicamente con inversión pública.

En contraste a lo anterior, en el **nuevo paradigma tecno-económico**, la organización productiva ideal es aquella que vincula de forma creciente el diseño, la administración, la producción y el mercadeo en un sistema integrado, mediante un proceso de "sistemización"; las firmas deben ser capaces de producir una mezcla flexible y cambiante de productos y servicios; las tendencias del crecimiento descansan en gran medida en los sectores de electrónica e informática y otras actividades afines; el perfil de empleo de la fuerza de trabajo incluye tanto calificaciones de alto como de bajo nivel; se sustituye la especialización estrecha por la

calificación multipropósitos; y el perfil productivo básico es la tecnología flexible (ver Freeman y Pérez, 1988; y Pérez, 1986).

En el plano ambiental, el movimiento ecológico contra la contaminación, el desperdicio y el agotamiento de los recursos naturales, iniciado a finales de los años 60, ha sido interpretado, junto a otras manifestaciones de problemas sociales y laborales exacerbados en esos años, como la contraparte social de lo que en el plano tecno-económico eran obstáculos al incremento de la productividad, asociados al agotamiento del paradigma anterior. Sobre esta base, se ha considerado al controversial informe del Club de Roma sobre "Los límites al crecimiento" (1972)² como la extrapolación de un paradigma más allá de su vida útil (ver Pérez, 1986: 51).

En los años recientes, los aspectos ambientales relacionados con el sector energético, que fueron virtualmente ignorados en el régimen tecnológico anterior, han comenzado a ganar cierta fuerza en el diseño y puesta en práctica de las políticas tecnológicas.

Entre los principales impactos ambientales adversos relacionados con este sector, frecuentemente se mencionan:

- la posibilidad de que ocurra un cambio climático de envergadura como consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. El principal gas de efecto invernadero es el dióxido de carbono, derivado en gran medida del consumo de combustibles fósiles;
- la contaminación atmosférica en los grandes centros urbanos y las precipitaciones ácidas, provocadas en alto grado por las emisiones de gases asociadas a la utilización de combustibles fósiles;
- los riesgos de accidentes nucleares y los problemas relacionados con la disposición de desechos y con el desmantelamiento de los reactores al concluir su vida útil;
- los costos ambientales (inundaciones) y sociales (desplazamientos humanos) derivados del aprovechamiento de la hidroenergía en gran escala;
- los problemas ambientales asociados a la creciente escasez de leña en los países subdesarrollados y el uso ineficiente de este recurso en esos países.

² Para más detalles acerca del informe "Los límites al crecimiento" (1972) ver epígrafe 2.1.2.

Una parte importante de los problemas ambientales provocados por el sector energético reflejan los efectos acumulados, no sólo en el paradigma tecno-económico anterior, sino a lo largo de más de 200 años de dependencia creciente de los combustibles fósiles (primero carbón y luego petróleo y carbón). Así, entre 1860 y 1949 el consumo de esos combustibles liberó unas 187 mil millones de toneladas métricas de CO₂, y en las cuatro décadas siguientes, con el rápido incremento en el consumo de esos portadores energéticos, tales emisiones llegaron a totalizar 559 mil millones de toneladas métricas.

Otros cálculos señalan que la concentración de CO₂ en la atmósfera pasó de 280 partículas por millón en volumen (ppmv) en 1750-1800 a 353 ppmv en 1990; es decir anualmente se ha producido un aumento promedio de 1.80 ppmv, que equivale a un incremento anual del 0,5%. A esto se añade la contribución de otros gases de efecto invernadero, como el metano, el óxido nitroso y los clorofluorocarbonos (IPCC, 1992: 76-81)

En otras palabras, la industrialización capitalista ha tenido como contrapartida, entre otros aspectos negativos desde el punto de vista socioeconómico, un deterioro ambiental creciente, que sólo recientemente ha pasado a ser considerado como un patrón de desarrollo insustentable.

En el contexto del nuevo paradigma tecno-económico, se tiende a incrementar el contenido de "información" de los productos más que su contenido energético o de recursos naturales, como resultado de la reducción en el tamaño de los productos, la eliminación de partes móviles, entre otras cosas. Además, en este esquema productivo, se facilita la instalación de sistemas de reciclaje energético y de materias primas y se favorece la recuperación de todos los subproductos con posible valor comercial; partiendo de un modelo ideal de planta de ciclo cerrado y sin emisiones. Según Pérez (1986), de esta forma se eludiría la amenaza implícita en el paradigma anterior de agotamiento de los recursos naturales e incremento de la contaminación.

Con relación a las nuevas tecnologías energéticas, Pérez (1986) reconoce que en este campo no ha sido posible dar los saltos tecnológicos requeridos para una sustitución energética que resulte económicamente viable y masiva; y señala que el

nivel de difusión que alcancen estas fuentes estaría determinado por su capacidad de competir con éxito frente a los combustibles fósiles, que siguen siendo los predominantes.

En síntesis, en estas condiciones, las nuevas tecnologías energéticas se insertan en el cambio estructural como un elemento más en la dirección de la flexibilidad y la diversidad, al tiempo que el ahorro energético se hace parte integrante de las trayectorias incrementales de los productos y procesos; sin indicios concretos de que, en el contexto de este paradigma tecno-económico, las nuevas fuentes tiendan a crear nuevas ramas o a modificar profundamente los equipos de producción, como sucedió con el petróleo y el carbón en épocas anteriores.

No obstante, no se debe descartar totalmente la posibilidad de que esta situación cambie a más largo plazo. Si se observa el marco temporal de los principales cambios en la base energética del período industrial (**Anexo I.1**), puede apreciarse que tanto el carbón como el petróleo, sólo se erigieron en factores claves del desarrollo tecnológico en la segunda de las dos "ondas largas" correspondientes a cada una de las dos primeras "Revoluciones Industriales", respectivamente; luego de un proceso de gradual avance y consolidación de estas fuentes energéticas.

Las fuentes nuevas y renovables, particularmente la energía solar, pudieran mostrar una evolución parecida, si logran vencer las limitaciones y obstáculos que enfrentan en el presente; en este sentido Pérez (1986) reconoce que un salto tecnológico en las celdas solares, con reducciones significativas en los costos, podría inducir una cadena de innovaciones asociadas a su difusión masiva como fuente de energía de uso directo.

En este contexto, otros autores como **Goldemberg, Johansson, Reddy y Williams (WRI, 1987 y Reddy, 1990)** han expresado sus ideas acerca de un **nuevo paradigma energético**, como un nuevo enfoque hacia un sistema energético sostenible que rompe con la correlación existente entre el consumo de energía y la evolución del PIB en períodos históricos anteriores. En la opinión de estos autores, pudiera lograrse un crecimiento económico con un incremento escaso o nulo en el consumo de energía, siempre que se incorpore la eficiencia energética como parte

integral de los objetivos de política económica y tecnológica. Estos autores también dedican especial atención al fomento de las fuentes energéticas nuevas y renovables, con el propósito de reducir el impacto ambiental adverso del sector energético sobre el entorno.

Como puede apreciarse existen puntos de contacto entre la concepción de Freeman y Pérez sobre el "nuevo paradigma tecno-económico" y el enfoque de Goldemberg, Johansson, Reddy y Williams acerca de un "nuevo paradigma energético", a partir de lo cual pudieran definirse los **patrones energéticos del nuevo paradigma tecno-económico**³ en tres direcciones básicas:

- incremento la eficiencia energética;
- fomento de fuentes energéticas no fósiles, sobre todo las renovables;
- sustitución de carbón y petróleo por gas natural, como elemento de transición entre sistemas energéticos basados en combustibles fósiles y posibles sistemas futuros con mayor participación de las fuentes energéticas renovables.

En estas direcciones se pronuncia Cipolla (1990), cuando señala que en la nueva fase de la Revolución industrial, iniciada en los años 70, la sustitución de las fuentes no renovables de energía inanimada por fuentes renovables constituye uno de los problemas principales a resolver. Otro de los problemas a solucionar, en opinión de este autor, es el de la ineficiencia energética. En relación a este segundo aspecto Cipolla apunta: "Lo malo de la ineficiencia no radica exclusivamente en lo que se desperdicia, sino en los estragos que resultan de ella. El tratamiento inadecuado de los combustibles produce unos residuos que rápidamente están envenenando el medio ambiente y trastornando el delicado equilibrio ecológico" (Cipolla, 1990: 74)

En la medida en que el incremento de la eficiencia energética ha pasado a ser un objetivo estratégico en el proceso de toma de decisiones en diferentes partes del planeta, se ha avanzado considerablemente en el diseño de metodologías para analizar la evolución de la demanda energética, en su relación con la dinámica socioeconómica de países y regiones. Uno de los indicadores más utilizados en estos

³ En esta investigación se utilizan indistintamente los términos *patrones del nuevo paradigma energético* y *patrones energéticos del nuevo paradigma tecno-económico*, para hacer alusión a los tres patrones o direcciones fundamentales de una reestructuración energética sostenible.

estudios es la intensidad energética o relación entre consumo de energía y PIB, que se expresa de la siguiente forma:

-Cada actividad (j) que utiliza energía, lo hace con una intensidad dada (I_j), y realiza un aporte al PIB equivalente a $C_j = f_j \times \text{PIB}$ (1.1), donde f_j es la proporción del PIB que aporta la actividad j;

-La demanda energética total (E) es, por tanto, igual a la suma (SUM) de las demandas energéticas parciales $E_j = C_j \times I_j$ (1.2):

$$E = \text{SUM } E_j \quad (1.3)$$

$$E = \text{SUM } (C_j \times I_j) \quad (1.4)$$

$$E = \text{SUM } (f_j \times \text{PIB} \times I_j) \quad (1.5)$$

$$E = \text{SUM } (f_j \times I_j) \times \text{PIB} \quad (1.6)$$

De esta relación se infiere que la demanda energética es proporcional al PIB si y sólo si el término $\text{SUM } (f_j \times I_j)$ es constante. A la hora de analizar las variaciones en la relación E/PIB, hay que distinguir la parte del cambio que se explica por la dinámica de la eficiencia energética y la parte que se explica por modificaciones en la estructura productiva (ver Goldemberg, Johansson, Reddy y Williams, 1994). Una de las limitaciones de este análisis agregado es que en las versiones actuales del Sistema de Cuentas Nacionales, el PIB no incorpora directamente el aporte de actividades como las del sector residencial.

Desde comienzos de los años 70, se han perfeccionado los métodos de estudio de la relación entre el consumo de energía y la actividad socioeconómica, y han alcanzado gran difusión los estudios energéticos basados en metodologías de análisis por usos finales, también conocidas como enfoques de abajo hacia arriba ("*botton-up approach*"), que orientan su análisis hacia la demanda de energía, entendida como la suma de los distintos usos finales de cada sector. Estos procedimientos permiten estudiar, con mayor grado de precisión, los factores estructurales que explican las variaciones de la demanda energética; y consideran la posibilidad de contabilizar las intensidades energéticas en relación con unidades tanto físicas⁴ como económicas.

⁴ Algunos ejemplos de intensidades energéticas relacionadas con unidades físicas son las siguientes: Megajoules (MJ)/toneladas, en el sector productivo; MJ/ton.-km y MJ/pasajero-km, en el sector de transportes; MJ/área, en el sector de servicios; y MJ/vivienda en el sector residencial.

En estos estudios o modelos de demanda energética (ver Bauer y Quintanilla, 1995a), se analizan por separado los sectores de la economía que son productores netos (agricultura, industria, transporte, comercial, y público-servicios) y los que son consumidores netos (residencial), de tal manera que la demanda total de energía estaría dada por:

$$E(t) = E^p(t) + E^c(t) \quad (1.7); \text{ donde:}$$

$$E^{(p,c)}(t) = \text{SUM}_j E_j^{(p,c)}(t) = \text{SUM}_{ji} E_{ji}^{(p,c)}(t) \quad (1.8) ; j \text{ se refiere a los sectores e } i \text{ a los subsectores (ej. siderurgia y metalurgia, cemento, petroquímica básica, etc.)}$$

$$E_{ji}^{(p,c)}(t) = V^{(p,c)}(t) \times C_{ji}^{(p,c)}(t) \times I_{ji}^{(p,c)}(t) \quad (1.9); \text{ con las siguientes interpretaciones, según los sectores de que se trate.}$$

En los sectores productivos:

$V^p(t)$: PIB en el año t ;

$C_{ji}^p(t)$: Contribución porcentual al PIB, correspondiente al subsector i del sector j , en el año t ;

$I_{ji}^p(t)$: Intensidad energética correspondiente al subsector i del sector j , en el año t .

En los sectores no productivos o consumidores:

$V^c(t)$: Población total en el período t ;

$C_{ji}^c(t)$: Contribución porcentual del subsector i del sector j a la población total, en el año t ;

$I_{ji}^c(t)$: Consumo energético per cápita correspondiente al subsector i del sector j , en el año t .

El enfoque “de abajo hacia arriba”, permite desagregar aún más la demanda de energía por usos finales (E_k), tales como calefacción, calentamiento de agua, cocción, iluminación y electrodomésticos en el sector residencial. Se parte de considerar que:

$$E_k = A \times \text{SUM}_I (I_i \times S_i) \quad (1.10); \text{ donde } I_i \text{ se refiere a la intensidad energética correspondiente al uso final } k \text{ y a la fuente de energía } I; S_i \text{ se define como grado de saturación y es el porcentaje de unidades físicas o económicas que utilizan la fuente de energía } I \text{ para cubrir el uso final } k; \text{ y } A \text{ se define como el nivel de actividad, es decir el valor agregado o producción bruta en el caso de los sectores productivos, y población en el caso del sector residencial (ver Sheinbaum y Rodríguez, 1995).}$$

Considerando las desagregaciones antes expuestas de la demanda de energía por usos finales y fuentes de energía, puede lograrse mayor precisión en el análisis de las variables explicatorias de los cambios en las tendencias del consumo energético, entre un período de referencia (o) y otro período posterior (t). Las variables a considerar serían: actividad (efecto actividad), saturación (efecto estructural) e intensidad energética (efecto intensidad), como sigue.

$$\text{Efecto actividad (\% VAR } E_A) = \{A(t) \times \text{SUM } [I_{kl}(o) \times S_{kl}(o)] - E_k(o)\} / E_k(o)$$

(1.11). En este caso se mantienen constantes las intensidades energéticas y el grado de saturación, y sólo varía el nivel de actividad, con respecto al período de referencia (o).

$$\text{Efecto estructural (\% VAR } E_s) = \{A(o) \times \text{SUM } [I_{kl}(o) \times S_{kl}(t)] - E_k(o)\} / E_k(o)$$

(1.12). Este caso supone constantes las intensidades energéticas y el nivel de actividad, con respecto al período de referencia.

$$\text{Efecto intensidad (\% VAR } E_i) = \{A(o) \times \text{SUM } [I_{kl}(t) \times S_{kl}(o)] - E_k(o)\} / E_k(o)$$

(1.13). En este análisis se mantienen constantes el nivel de actividad y el grado de saturación, con relación al período de referencia.

Este tipo de enfoque, basado en el análisis de los usos finales, facilita la evaluación del potencial de ahorro energético en cada aplicación energética, medir el grado de aprovechamiento de estas potencialidades y monitorear los efectos de las políticas de conservación de la energía que se proponen.

Esta metodología también se aplica al cálculo de las emisiones de gases contaminantes derivados de la actividad energética, en modelos de demanda de energía como el "STAIR" (nombre formado por las iniciales en Inglés de los cinco sectores consumidores de energía: Servicios, Transporte, Agropecuario, Industria y Residencial). En este modelo, las emisiones per cápita (E_m) anuales de un contaminante o gas de efecto invernadero, derivadas del sector energético, se determinan considerando que:

$$E_m(t) = \text{SUMA } [F_{kl}(t) \times A(t) \times C_{kl} \times I_{kl}(t) \times S_{kl}(t)] \quad (1.14); \text{ donde:}$$

$F_{kl}(t)$: Porcentaje de uso de la fuente de energía l en el año t para el uso final k.

C_{kl} : Coeficiente de emisión de la fuente de energía l.

$I_{kl}(t)$: Intensidad energética del uso final k , de la fuente de energía l en el año t .

$S_{kl}(t)$: Saturación de la tecnología de uso final k , de la fuente de energía l en el año t .

$A(t)$: Nivel de actividad en el año t (ver Sheinbaum y Rodríguez, 1995: 94-95).

En el debate actual, si bien existe una opinión bastante generalizada acerca de la necesidad de aumentar el ahorro energético y reducir la dependencia de los combustibles fósiles; se aprecian notables divergencias a la hora de identificar la fuente de energía clave para un sistema energético sostenible.

Algunos especialistas como Flavin y Lenssen (1990) y Blackburn, (1987) sostienen que la energía solar sería la piedra angular de un sistema energético sostenible, junto a otras fuentes renovables. Otros autores como Häfalle (1989) y Cazadero (1988) apuntan que la única solución al problema del abasto energético futuro parece ser la energía nuclear basada en la fusión. Ambas opciones enfrentan serios obstáculos para su materialización en un futuro cercano, de modo que en las próximas décadas se avanzaría, en el mejor de los casos, hacia un sistema energético más diversificado y con una presencia declinante de los combustibles fósiles que generan mayor contaminación.

Adicionalmente, cabe señalar que una transición energética basada en criterios de sustentabilidad (reestructuración energética sostenible) sería exitosa en la medida en que tenga un carácter global, debido al alcance internacional y a la interrelación existente entre los principales problemas tecno-económicos y ecológicos a resolver, en el contexto actual y en un futuro previsible.

Capítulo II

Tecnología, energía y medio ambiente en el contexto actual

A diferencia de períodos anteriores, en las últimas dos décadas el tema ambiental ha ocupado un lugar central tanto en el debate teórico como en el proceso de toma de decisiones en diversas partes del planeta. Desde mediados del decenio del 80 se asiste a un proceso de internacionalización del debate en torno al vínculo entre medio ambiente y desarrollo, que tiene importantes dimensiones políticas, económicas, tecnológicas, sociales, ambientales y humanas.

2.1. El debate internacional sobre medio ambiente y desarrollo

Los problemas asociados al deterioro del medio ambiente son tan antiguos como la propia historia de la humanidad; sin embargo los estudios referidos a la interacción entre el hombre y la naturaleza no siempre han dado igual prioridad al análisis del efecto depredador del hombre sobre el medio.

2.1.1. Consideraciones teóricas sobre el vínculo entre medio ambiente y desarrollo

En opinión de algunos autores como Colby y Sagasti (1992), pueden identificarse al menos cinco enfoques o paradigmas en el debate acerca de las relaciones entre medio ambiente y desarrollo: la economía de frontera, la ecología profunda, la protección ambiental, la administración de los recursos naturales -bajo el criterio de "economizar el medio ambiente"- y el "ecodesarrollo" -de acuerdo con el principio de "ecologizar la economía".

El enfoque de la **economía de frontera** considera al medio ambiente como un conjunto ilimitado de recursos o "bienes libres", que pueden ser explotados indiscriminadamente. Este paradigma está asociado a la aplicación de políticas económicas liberales, en lo relacionado con la calidad ambiental; y muchos de los países que lo han adoptado han pretendido justificarlo con la necesidad de crecer

económicamente. En el perfil tecnológico de este enfoque predominan las tecnologías que requieren altos insumos de energía, fertilizantes y agua; además tiende a promoverse una elevada dependencia de los combustibles fósiles, alto crecimiento poblacional y disposición de desechos no regulada, entre otras tendencias

Los patrones de la economía de frontera difieren radicalmente del punto de vista de la **ecología profunda**, que sugiere la búsqueda de una armonía entre el desarrollo y el medio sobre la base de una supeditación del hombre a la naturaleza, un bajo perfil tecnológico y una reducción de la población. En estos marcos conceptuales el consumo humano y el crecimiento económico son concebidos como intrínsecamente perjudiciales, desde el punto de vista ecológico; y se considera que todas las especies, incluida la humana, tienen igual valor.

Por su parte, el paradigma de la **protección ambiental**, que comienza a cobrar relevancia en la década del 60 en los países industrializados, es ante todo una respuesta a los problemas ambientales derivados del enfoque de la economía de frontera. En cuanto a las tecnologías predominantes y a las estrategias de manejo ambiental, la protección ambiental supone el uso de tecnologías de fase final o "al final del tubo", que pretenden controlar la contaminación una vez que ésta se ha producido; además de abogar por la utilización preferente de mecanismos administrativos o regulaciones legales para enfrentar el deterioro del entorno. En este esquema no se aprecian vínculos entre la protección del medio y las políticas de desarrollo; es decir son objetivos separados.

Durante el decenio de los años 80 se hizo sentir con mayor fuerza el criterio de administrar adecuadamente los recursos naturales y **economizar el medio ambiente**, según el cual el entorno es un recurso frágil que debe ser administrado de manera sostenible, en correspondencia con los principios económicos para la asignación de factores de producción escasos.

Este enfoque aboga por la sustentabilidad, basada en la aplicación preferente de mecanismos de mercado y del principio de que "el que contamina paga", en lugar de mecanismos administrativos de regulación legal; por lo que muestra gran afinidad con los preceptos teóricos de la Economía Ambiental. En el plano tecnológico se

aprecia especial preocupación por la reducción de la contaminación mediante el incremento de la eficiencia energética, el fomento de las fuentes renovables de energía y la estabilización de la población, entre otras vías.

Si bien muchas de las preocupaciones de este enfoque de manejo del entorno como recurso frágil están asociadas con las realidades de los países subdesarrollados, como es el caso de la dinámica poblacional; los criterios que predominan en el análisis de esos aspectos reflejan preferentemente los puntos de vista de los países desarrollados. Colby y Sagasti (1992) ubican en este marco conceptual al Informe "Nuestro Futuro Común" (1987), donde la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo presenta el concepto de desarrollo sostenible.

Más recientemente ha comenzado a abrirse paso con mayor vigor el paradigma del **ecodesarrollo**, presente en el debate internacional desde los años 70 y que pretende lograr una integración entre factores y objetivos sociales, económicos y ecológicos, desde una perspectiva de largo plazo. Este paradigma se propone asegurar tanto la equidad intergeneracional como la intrageneracional, y en el plano teórico tiene importantes puntos de contacto con la Economía Ecológica.

Desde el punto de vista tecnológico, se aboga por las llamadas "ecotecnologías", destinadas al aprovechamiento de las energías renovables, el reciclaje, la agricultura de bajos insumos, entre otros aspectos; y es considerado como el primer enfoque que encierra una visión de futuro, basada de forma balanceada en experiencias, filosofías y prioridades de países desarrollados y subdesarrollados.

Como se mencionó antes, el enfoque de la **administración sostenible de los recursos naturales**, sobre la base del principio de que "el que contamina paga", muestra gran afinidad teórica con la Economía Ambiental y la internalización de externalidades¹ inherente a esta escuela; mientras que el paradigma del **ecodesarrollo** revela una gran aproximación a las posiciones de la Economía Ecológica, donde se incluyen autores como Constanza (1991) y Martínez Alier (1994).

¹ Bajo el prisma de análisis neoclásico, se refiere a los perjuicios o beneficios no medidos por el mercado; de tal forma que un costo externo, como la contaminación, es considerado como una externalidad negativa o una deseconomía externa, mientras que un beneficio externo es una externalidad positiva o una economía externa. Las externalidades son consideradas como fallas del mercado; es decir situaciones en las que la eficiencia microeconómica es violada.

La **Economía Ambiental** y de los recursos naturales, surgida a finales de los 60, comparte con sus raíces neoclásicas un supuesto común acerca de la existencia de un método económico de mercado que resulta eficiente para obtener un nivel óptimo de degradación ambiental. De acuerdo con los criterios de esta escuela, el **proceso de internalización de las externalidades** consta de cuatro etapas básicas:

- Identificación de las externalidades.
- Evaluación del impacto.
- Valoración monetaria.
- Determinación de los instrumentos de política dirigidos a mitigar o evitar las externalidades negativas. (Pantin, 1994: 69)

Las dos primeras etapas son preliminares y van más allá del análisis económico, sobre todo a la hora de precisar, con criterios científicos especializados, el alcance del impacto ambiental de determinada actividad económica. En estas etapas preliminares el concepto de "capacidad de absorción" o "capacidad de libre disposición de desechos" tiene gran utilidad ya que si, por ejemplo, las emisiones de desechos contaminantes están dentro de la capacidad de absorción del medio ambiente, no son reconocidas como externalidades.

Las últimas dos etapas del proceso de internalización de externalidades requieren de una activa participación de los economistas. La Economía Ambiental y de los recursos naturales supone que toda "externalidad" puede recibir una valoración monetaria convincente, siguiendo un razonamiento monetario convencional y, a partir de tal valoración proponen diversos instrumentos de política económica para alcanzar el "óptimo social".

Los instrumentos de política que propone la Economía Ambiental para mitigar o evitar las externalidades negativas se agrupan en cuatro categorías:

- Acción moral (educación ambiental pública).
- Instrumentos administrativos, basados en legislaciones (prohibiciones, normas técnicas, etc.)
- Instrumentos de mercado (impuestos ambientales, incentivos fiscales, permisos de emisión negociables, etc.).

- Acciones públicas, en caso de que los peligros ambientales sean sustanciales.

Los instrumentos administrativos refrendados en las legislaciones han sido los más utilizados internacionalmente, como parte de las políticas de protección ambiental; sin embargo, la escuela neoclásica los ha sometido a fuertes críticas, por considerar que el empleo de estos mecanismos no garantiza necesariamente una situación de costos mínimos, y reduce el incentivo de los agentes económicos para disminuir la contaminación. Debe recordarse que la Economía Ambiental favorece el uso de fórmulas de mercado como instrumentos de política ambiental, por considerarlas como más eficientes.

Entre los instrumentos de mercado más conocidos internacionalmente para internalizar las externalidades se encuentran los impuestos ambientales y los permisos de emisión negociables; que implícitamente legitiman el "derecho a contaminar". De un lado, el mecanismo de los impuestos ambientales parte de la idea acerca del impuesto pigouviano (ver A.C. Pigou, 1920; en **Pantin, 1994**), según la cual se busca introducir un costo fiscal al agente contaminador, equivalente a la deseconomía externa que éste genera. Las principales desventajas de tales impuestos están asociadas a las limitaciones para establecer un nivel óptimo de la tasa impositiva; los costos implícitos en este mecanismo fiscal, y las pérdidas productivas de las firmas afectadas.

De otro lado, el mecanismo de los permisos de emisión negociables parte de los postulados del Teorema de Coase, 1960, y es considerado como una de las versiones extremas del énfasis en las fórmulas de mercado. Tomando como punto de partida una meta de calidad ambiental, se procede a definir dicha meta en términos de emisiones totales permitidas; y luego se distribuyen los permisos de emisión entre las firmas (a escala nacional) o países (a escala internacional), de acuerdo con criterios de distribución predeterminados; finalmente, los agentes económicos intercambian en el mercado sus déficits o excedentes de permisos de emisión y de esta forma, según los preceptos neoclásicos, se minimizarían los costos para lograr la meta de calidad ambiental.

Entre las limitaciones de los permisos de emisión negociables se encuentran los fuertes supuestos de que parte esta concepción; sobre todo el referido a la

existencia de un clima de competencia perfecta, que supone igual poder de negociación de todos los agentes económicos; así como en lo relativo a la posibilidad de monitorear el sistema de permisos y de calcular adecuadamente la meta inicial de calidad ambiental.

En este contexto, la **Economía Ecológica** se presenta como una crítica del análisis económico neoclásico, en tanto adopta un modelo de balance material para mostrar la dependencia del proceso económico respecto al entorno, donde este último constituye la fuente de insumos materiales y el receptor de los desechos generados en el proceso de extracción, procesamiento y consumo de los productos. La lógica conclusión que se deriva del modelo de balance material es que el medio ambiente tiene una gran capacidad para proporcionar recursos naturales destinados a las actividades humanas y para absorber los desechos, pero esta capacidad es limitada.

Esta escuela ha sido considerada como una nueva área transdisciplinaria de estudios que se dedica a las relaciones entre los ecosistemas y los sistemas económicos en el sentido más amplio. Algunos de sus máximos exponentes, como H. Daly, señalan que existen tres valores en conflicto, que requieren acciones o instrumentos de política que los garanticen:

- La eficiencia económica, que se garantiza con una asignación óptima de recursos.
- La justicia social, que se asegura con políticas de redistribución del ingreso.
- La sustentabilidad, que requiere tener en cuenta las consideraciones acerca de la escala óptima de utilización del medio ambiente.

De acuerdo con Daly, el objetivo de la sustentabilidad supone cuatro principios operacionales, en lo relacionado con la escala óptima de utilización del medio, según los cuales:

- Se debe limitar la escala humana de la producción a un nivel que, si no es el óptimo, esté al menos dentro de la capacidad de carga sostenible (principio fundamental).
- El progreso tecnológico para el desarrollo sostenible debe tener como propósito el incremento de la eficiencia más que el aumento de la producción.

- Los recursos renovables deben ser explotados sobre bases sostenibles, de tal forma que se maximicen las ganancias sin provocar la extinción de los recursos. Este principio supone tasas de explotación que no excedan las tasas de regeneración de los recursos, y niveles de emisiones contaminantes que no excedan la capacidad de asimilación renovable del medio ambiente.
- Los recursos no renovables deben explotarse a una tasa igual a la creación de sustitutos renovables (ver H. Daly en **Pantin, 1994: 93-94**).

Los autores de la Economía Ecológica, como J.M. Naredo y J. Martínez Alier, señalan la imposibilidad de una "internalización" convincente de las externalidades y para ello se basan principalmente en la ausencia de las generaciones futuras en los mercados actuales, aún cuando esos mercados sean ampliados ecológicamente (**Martínez Alier, 1994**). Debe aclararse que la Economía Ecológica no excluye, por definición, el uso de los instrumentos de política que propone la Economía Ambiental para reducir los impactos negativos de la actividad humana sobre el medio.

Un tema de particular trascendencia con respecto al vínculo entre medio ambiente y desarrollo es el referido a la relación entre **comercio, crecimiento económico y calidad ambiental**. De alguna manera, las dos posiciones más irreconciliables en este debate guardan cierta afinidad con los enfoques de la economía de frontera, de un lado, y la ecología profunda, de otro.

La posición más cercana al paradigma de la economía de frontera, en esta discusión, es la que suscribe la idea acerca de un condicionamiento casi automático de la calidad ambiental con respecto al crecimiento económico y de este, a su vez, en relación con la liberalización comercial. Así, los defensores de esta posición abogan por la liberalización comercial global a ultranza; subestimando, incluso los muy desiguales niveles de desarrollo económico entre los distintos países. De esta manera se tienden a absolutizar los beneficios del "libre comercio", en términos de elevación de la riqueza material, una más rápida difusión de las tecnologías ambientalmente idóneas, mayores recursos destinados a los presupuestos ambientales, entre otros.

En el otro extremo se ubica la posición más cercana al paradigma de la ecología profunda, que tiende a absolutizar los efectos ambientales negativos que se

derivan del “libre comercio”. Los partidarios de esta idea, señalan que las ventajas competitivas internacionales se logran en alto grado a través de una inadecuada determinación de costos de la producción y la liberalización comercial; y abogan por un comercio regulado a escala nacional e internacional, para proteger al entorno.

El argumento de los que sostienen la defensa a ultranza del “libre comercio” se basa en gran medida en la Curva de Kuznets², que relaciona gráficamente al nivel de crecimiento económico (eje X) con el nivel de degradación ambiental (eje Y), en forma de una “U” invertida. Es decir, que el crecimiento económico en un país dado conduce, en el corto plazo, a una mayor degradación ambiental, pero luego de alcanzar un punto de inflexión, para un nivel dado de ingreso per cápita, tienden a mejorar las condiciones ambientales con el crecimiento económico.

Vale apuntar que el esquema teórico de la Curva Kuznets, retomado por varios autores con fines de validación empírica, ha sido sometido a diversas críticas, tanto por los resultados divergentes obtenidos, en función de la información primaria empleada, como por la ausencia de un análisis integral de los efectos ambientales adversos que se derivan del libre comercio y del crecimiento económico. Probablemente lo más inaceptable sea la idea subyacente de que el crecimiento económico tiene que alcanzarse antes de que se actúe para proteger el medio ambiente; y la sugerencia de que la liberalización económica/comercial y otras políticas de crecimiento económico podrían sustituir a las políticas ambientales.

En medio de esta polémica, el punto de vista más acertado no es precisamente el que busca elegir entre comercio y crecimiento económico, de un lado, y calidad ambiental, del otro; sino el que busca establecer diferencias entre una modalidad de comercio y crecimiento económico, basada en una visión cortoplacista, que se traduce en serios daños ambientales; y un enfoque comercial, con una perspectiva de largo plazo, que contribuya al crecimiento económico sobre bases sostenibles (ver **Zadek y Haas, 1997: 6-11**).

² Esta curva debe su nombre a Simón Kuznets, por las contribuciones de este autor a la teoría del crecimiento, en años 30.

El fomento del comercio y del crecimiento económico bajo criterios de sustentabilidad, supone entre otras cosas, un mayor conocimiento y valoración de las implicaciones ambientales de la actividad económica, mediante los modelos macroeconómicos de contabilidad ambiental y otros medios; así como el diseño y aplicación efectiva de legislaciones ambientales adecuadas, tanto en el plano nacional como internacional

2.1.2. Hacia una internacionalización del debate sobre medio ambiente y desarrollo

En el plano de los **movimientos sociales y las negociaciones internacionales**, algunos expertos en esta materia como Jamison (1990) señalan que el debate ambientalista y la corriente ecologista internacional han atravesado por cuatro etapas fundamentales antes de desembocar en el actual proceso de internacionalización. Después de una etapa inicial de despegue o despertar, entre 1960 y 1968, esta corriente entró en un período de organización, que se extendió hasta 1974, aproximadamente.

Uno de los rasgos fundamentales de esa fase de organización fue la creación de agencias o departamentos gubernamentales dedicados a la investigación de los problemas ambientales en casi todos los países capitalistas desarrollados. Además, en 1972 se celebró en Estocolmo (Suecia) la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano y se fundó el Programa de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente (PNUMA), que fue uno de los primeros promotores del criterio del ecodesarrollo, como intento por incorporar objetivos culturales, sociales y ecológicos en el concepto de desarrollo. De esta forma, se dotó a los esfuerzos y debates en el terreno ambiental de una base institucional.

Cabe recordar que también en 1972 se publicaron los estudios auspiciados por el Club de Roma sobre "Los límites al crecimiento". Según estos estudios, conducidos básicamente por J. Forrester y D. Meadows, de continuar sin cambios las tendencias de crecimiento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y el agotamiento de los recursos naturales; en un período de

100 años se alcanzarían los límites al crecimiento del planeta, con un probable declive, súbito e incontrolable, tanto de la población como de la capacidad industrial.

Ante tales previsiones, los autores de "Los límites al crecimiento" propusieron la rápida modificación de las tendencias del crecimiento y el establecimiento de normas de estabilidad ecológica y económica, que permitiesen alcanzar el equilibrio global de crecimiento cero lo antes posible ya que, según ellos, si se optaba por esperar el equilibrio natural, habría que atravesar por una larga fase de agonía.

Una de las críticas más agudas a este estudio provino de la Universidad británica de Sussex³, por considerarse que las conclusiones antes expuestas subestiman al progreso tecnológico. En general, desde su aparición este polémico estudio ha constituido una obligada referencia en el debate teórico sobre medio ambiente y desarrollo; y es justamente en el contexto de este debate que emerge una literatura neoclásica acerca del agotamiento de los recursos no renovables y del impacto que esta situación tendría sobre el crecimiento económico futuro⁴.

Entre 1975 y 1980, el debate en torno a los problemas ambientales devino un movimiento ecologista, que tuvo su centro de principal atención en el tema energético, debido, entre otras cosas, al súbito encarecimiento de la energía en ese período. Este debate entre energía y medio ambiente tuvo amplia repercusión internacional a partir de 1979, al ocurrir el accidente de la planta nuclear de *Three Mile Island*, Pennsylvania, EE.UU.

Con tales precedentes, entre 1981 y 1986 transcurre una etapa en la que se profesionaliza la conciencia ambientalista y se aprecia un creciente interés parlamentario en relación con el deterioro ambiental, que se canaliza por la vía de

³ Según K. Pavitt, C. Freeman y otros autores de la Universidad de Sussex, Forrester y Meadows llegan a conclusiones que son básicamente las mismas que las de R. Malthus y D. Ricardo ya que aunque aceptan un progreso técnico continuo y sostenido en la industria, consideran que los rendimientos serían decrecientes en las inversiones agrícolas y en recursos naturales, y asumen que no habría una mejora continua en las tecnologías anticontaminantes (Tamames, 1977: 126-129).

⁴ Las preocupaciones acerca de la escasez potencial futura de los recursos no renovables y sus implicaciones para la prosperidad económica coincidieron con el nacimiento de la Economía Política a finales del Siglo XVIII, y estuvieron presentes en autores como R. Malthus, D. Ricardo y J.S. Mill; pero con el desplazamiento de la Economía Política Clásica por la Escuela Neoclásica, hacia finales del Siglo XIX, la preocupación por el agotamiento de los recursos naturales desapareció, en lo fundamental, del dominio de las investigaciones económicas hasta comienzos de los años 70.

numerosos partidos políticos -"verdes"-, principalmente en el viejo continente. También en esta etapa aumenta notablemente la actividad de numerosas organizaciones no gubernamentales (ONG), que surgen al calor del debate sobre el medio ambiente.

En este contexto, el accidente de la planta nuclear de Chernobyl, ocurrido en Ucrania en 1986, puso nuevamente en un primer plano los problemas de la contaminación atmosférica transfronteriza y el debate sobre energía y medio ambiente.

Desde la década de los años 80 se han hecho más evidentes algunos de los problemas ambientales, de alcance internacional, que más preocupan a la humanidad, tales como el agotamiento de la capa de ozono; el efecto invernadero; la pérdida de la diversidad biológica; la contaminación urbana; el tráfico transfronterizo de desechos peligrosos; la contaminación de los mares, océanos y zonas costeras y el deterioro ambiental asociado a las condiciones de subdesarrollo y pobreza en que viven las tres cuartas partes de la población mundial. Se calcula que 80% de los pobres en América Latina, 60% de los de Asia y 50% de los de Africa viven en áreas ecológicamente vulnerables (Pronk y Haq, 1992: 8).

En los últimos diez años se ha difundido ampliamente la **tesis del desarrollo sostenible**, que fuera presentada en el informe Nuestro Futuro Común de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (WCED, 1987). El desarrollo sostenible ha sido definido como aquel desarrollo que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

De acuerdo con algunos autores (Provencio y Carabias, 1992), existen por lo menos dos vertientes que alimentaron el enfoque del desarrollo sostenible; de un lado, las corrientes que, sobre todo a partir de comienzos de los años 70, han sometido a revisión el concepto de desarrollo económico y las políticas económicas prevalecientes y, de otro lado, el surgimiento de la crítica ambientalista al modo de vida contemporáneo.

En el decenio del 80, tanto el agravamiento de los problemas ambientales globales como la agudización de los problemas socioeconómicos internacionales -

particularmente, la profunda crisis que afecta a los países subdesarrollados-, aceleraron la confluencia de las dos vertientes antes mencionadas.

Según otros autores (Pearce y Warford, 1993), la aparición y difusión de la tesis del desarrollo sostenible en el contexto de la internacionalización del debate ecológico, caracteriza a la segunda revolución ambiental ocurrida en los últimos treinta años. La primera revolución ambiental de este período fue la ocurrida entre finales de los años 60 y comienzos de los 70, y estuvo marcada por el debate en torno a la calidad ambiental vs. crecimiento económico, al calor de la ya mencionada polémica acerca de "Los límites al crecimiento" (1972).

A diferencia de la primera revolución ambiental, cuando se consideraba al crecimiento y a la conservación del entorno como variables irreconciliables y en conflicto; bajo las condiciones de la segunda revolución ambiental ha cambiado el enfoque, en el sentido de considerar a tales variables como potencialmente compatibles.

En las nuevas condiciones no se cuestiona la necesidad de crecer, pero se discute acerca de cómo crecer; se aprecia un desarrollo mucho mayor de las técnicas para medir los daños y beneficios ambientales derivados de la actividad socioeconómica; y se observa un mayor énfasis en los efectos indirectos de la degradación ambiental, en áreas como la salud, la productividad, y otras. Asimismo, en la actualidad, además de considerarse los problemas ambientales locales, se hace un énfasis mayor que antes en el ámbito global, dada la internacionalización de la problemática ecológica.

Si bien la mayor parte del debate ecológico, durante la primera revolución ambiental, estuvo confinado a los problemas más graves de contaminación de los países desarrollados; en los nuevos tiempos el debate incluye, además, los problemas ambientales y de desarrollo de las naciones subdesarrolladas, y se aprecia un enfoque más integral en cuanto al manejo de los recursos naturales.

En este nuevo contexto, a las preocupaciones en torno al agotamiento de los recursos no renovables, ya presentes a comienzos de los años 70, se suman nuevos temas de discusión como los relativos al manejo de los recursos renovables; lo que resulta de gran significación para los países subdesarrollados, sobre todo en lo

referido a recursos tan vitales para la vida de estas naciones como el agua, la biomasa y el suelo.

De los cinco paradigmas o enfoques acerca del vínculo entre medio ambiente y desarrollo, analizados con anterioridad en este capítulo, Colby y Sagasti (1992) consideran que el relativo a la "administración sostenible de recursos naturales" y el del "ecodesarrollo" constituyen dos paradigmas estratégicos orientados ambos al logro de la sustentabilidad.

Si bien los límites entre ambos enfoques resultan difusos en ciertas áreas, como en lo relativo a las soluciones tecnológicas que se proponen; el paradigma del ecodesarrollo tiende a ser más integral y acabado, además de basarse de forma más equitativa en las ideas, experiencias y prioridades de los países desarrollados y subdesarrollados, lo que favorece su aceptación en las naciones pobres.

El concepto de desarrollo sostenible concibe al desarrollo como un proceso armónico, donde la explotación de los recursos, la dirección de las inversiones, la orientación del cambio tecnológico y las transformaciones institucionales deben estar a tono con las necesidades de las generaciones presentes y futuras. Así, se presenta al desarrollo como un proceso que requiere un progreso global en un conjunto de dimensiones -económica, humana, ambiental y tecnológica-, que interactúan entre sí.

A pesar de su rápida aceptación y difusión como expresión concentrada de una "forma de desarrollo" más humana y equitativa, la versión original de esta tesis no está exenta de limitaciones⁵. Ante todo, se destaca el carácter ambiguo de esta tesis, lo que ha condicionado la aparición de múltiples definiciones del desarrollo sostenible, en función de los intereses de los autores y de las circunstancias concretas de cada caso.

La ambigüedad de esta tesis se pone de manifiesto al identificar las disparidades socioeconómicas prevalecientes en el mundo actual, pero sin reconocer los mecanismos que han generado esa desigualdad. Incluso, en ocasiones se ha calificado a esta tesis como una estrategia pensada desde el Norte industrializado y que, por lo tanto, no incorpora los puntos de vista y prioridades del mundo

⁵ Las valoraciones que siguen acerca de las limitaciones de la tesis del desarrollo sostenible se refieren a un análisis crítico del enfoque de "administración sostenible de los recursos naturales".

subdesarrollado. Teniendo en cuenta esta limitación, el *South Centre* (1991) ha expresado que dicho concepto debe considerar, además, que las necesidades del Norte sean cubiertas sin comprometer la satisfacción de las necesidades presentes y futuras del Sur.

Muchas veces la tesis del desarrollo sostenible ha sido empleada como pretexto por algunos países desarrollados para justificar la adopción de medidas proteccionistas contra otros estados. Un ejemplo en este sentido es el embargo atunero, decretado en mayo de 1991 por EE.UU. contra las exportaciones de Venezuela, México y las Islas Vanuatu, basado en la Ley de Mamíferos de EE.UU. Este embargo fue declarado ilegal por el GATT.

Si se acepta el planteamiento de la profesora norteamericana G. A. Potter (1992), de que el concepto de desarrollo sostenible es visto cada vez más como la promesa de reconciliar la igualdad social, el crecimiento económico, las fuerzas del mercado y la conservación del medio ambiente, que abre un paso común para la unión de los intereses del Norte y del Sur, se comprendería sin mucha dificultad no sólo el aire de nueva utopía con que se le presenta, sino además el peligro que entraña para el futuro socioeconómico de los países subdesarrollados la idea de un "mercado verde", que legitime el derecho de los principales contaminadores a seguir deteriorando el entorno.

También se ha cuestionado el énfasis que hace la tesis del desarrollo sostenible en la equidad intergeneracional, en detrimento de la equidad intrageneracional. En este sentido, cabe señalar que para la mayoría de la población mundial, residente en el área subdesarrollada, resulta muy difícil pensar en la satisfacción de las necesidades de las futuras generaciones cuando sus requerimientos básicos del presente no están cubiertos.

Otra de las limitaciones de la tesis del desarrollo sostenible es la sugerencia de que las mismas agencias multilaterales, dominadas por los países industrializados y responsables en gran medida de las actividades que erosionan al medio, podrían liderar la transición hacia un desarrollo armónico, equitativo y ambientalmente seguro.

En este contexto de internacionalización del debate ambientalista, que cobra especial fuerza desde mediados de la pasada década, los países desarrollados han insistido en el tratamiento por separado de los problemas del medio ambiente y del desarrollo. Estos países, además de capitalizar en su favor los trascendentales cambios ocurridos en la correlación de fuerzas económicas y políticas a nivel internacional, persisten en su propósito de evadir sus responsabilidades ambientales y realizan grandes esfuerzos por desviar la atención internacional hacia aquellos temas ambientales que son de su interés, sin tener en cuenta debidamente los objetivos y prioridades de las naciones subdesarrolladas.

2.1.3. Medio ambiente y desarrollo en torno al eje Norte-Sur

Considerando el carácter global de muchos de los fenómenos ambientales que más preocupan a la humanidad, la interrelación que existe entre ellos y la creciente brecha socioeconómica que caracteriza a las relaciones Norte-Sur; una solución duradera a los problemas ambientales globales pasa necesariamente por una profunda reestructuración de las relaciones económicas y políticas internacionales, sobre bases de equidad y justicia social

Al propio tiempo, resulta indispensable fortalecer la identidad de cada país y su capacidad para diseñar y poner en práctica estrategias propias de desarrollo socioeconómico, que permitan asegurar la expansión sostenida de la producción, hacer frente a los graves problemas sociales, corregir los problemas ambientales del pasado y evitar un ulterior deterioro del medio ambiente, en función de los recursos disponibles.

El hecho de que los principales problemas ambientales actuales tengan un carácter global, tiende a unir a los estados en la búsqueda de soluciones comunes; sin embargo esta convergencia suele ser contrarrestada por la falta de consenso a la hora de establecer responsabilidades concretas a nivel internacional.

Así, por ejemplo, las negociaciones relacionadas con la CNUMAD -Río de Janeiro, Brasil/92- estuvieron marcadas por la reticencia de los países industrializados, a asumir compromisos concretos relacionados con la transferencia de tecnologías y

los recursos financieros requeridos por los países subdesarrollados. En el contexto actual, el avance del Tercer Mundo en materia de desarrollo sostenible requiere, ante todo, de un clima comercial y monetario financiero internacional que sea equilibrado y no discriminatorio.

Durante el pasado decenio se agravó notablemente la situación de profunda crisis socioeconómica que afecta a la mayoría de los países subdesarrollados, para los cuales la deuda externa continúa siendo uno de los principales obstáculos en el proceso de desarrollo. Adicionalmente, se ha acelerado el desplazamiento de estas naciones en el comercio y las finanzas internacionales.

La marcada tendencia hacia la conformación de grandes bloques comerciales y económicos, con centro en los principales países industrializados, también representa un importante desafío para las naciones subdesarrolladas que, en ausencia de esquemas coherentes de integración Sur-Sur, quedarían insertas en los nuevos bloques económicos bajo condiciones renovadas de subordinación y dependencia. Así las cosas, el avance de las naciones subdesarrolladas por la senda de un desarrollo ambientalmente seguro estaría condicionado, en gran medida, por el éxito que se tenga en el mejoramiento del entorno económico internacional en que operan estos países.

En el orden comercial, se impone la necesidad de dismantelar las barreras al comercio internacional, tanto arancelarias como no arancelarias, así como otras prácticas comerciales desleales llevadas a cabo sobre todo por los países desarrollados. Tales prácticas acentúan el deterioro de los términos de intercambio de las naciones más vulnerables económicamente y tienden a frenar el acceso de los países subdesarrollados a los mercados mundiales. Con el saneamiento del clima comercial, se elevaría considerablemente la capacidad del mundo subdesarrollado para movilizar, mediante el comercio internacional, los recursos necesarios para financiar las inversiones que requiere el desarrollo sostenible.

En el plano financiero, resulta imprescindible una solución duradera al problema del endeudamiento externo de los países subdesarrollados y la transferencia, en condiciones favorables, de recursos adicionales a estos países, en los montos requeridos para que los mismos puedan asumir compromisos de sustentabilidad. Es

decir, el financiamiento externo para el desarrollo sostenible no debe ser el resultado de una redistribución de los escasos recursos financieros que llegan a los países subdesarrollados, sino un flujo nuevo de capitales; de lo contrario, el tema ambiental sólo constituiría una condicionalidad para la ayuda al desarrollo.

Cabe resaltar en este sentido, el caso excepcional de Dinamarca, que además aportar el 1% de su PIB como Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD), se ha comprometido a suministrar adicionalmente nuevos fondos ascendentes al 0.5% de su PIB para proyectos ambientales (USCAN/CAN, 1995: 3).

En la Agenda 21 (Programa de Acción sobre medio ambiente y desarrollo, aprobado en la Cumbre de Río) se destaca que los países del Tercer Mundo requerirían unos 125 mil millones de dólares anuales, procedentes de fuentes externas, sin considerar el aporte que deben realizar los propios países subdesarrollados⁶. De esa propuesta de 125 mil millones de dólares de ayuda financiera externa, al concluir la CNUMAD sólo existían compromisos por unos 6-8 mil millones de dólares y se desembolsaron en aquel momento apenas unos 2 mil millones de dólares.

En relación con las posibles fuentes de los recursos financieros requeridos por el Tercer Mundo, deben tenerse en cuenta, entre otras, los fondos que se liberarían si desaparecieran los subsidios económicos que aplican los países desarrollados para proteger a sus productores locales y los recursos que quedarían disponibles si el fin de la guerra fría se tradujera realmente en un recorte sustancial de los gastos militares a nivel internacional, el llamado "dividendo de paz".

En lo referido a los mecanismos para canalizar los recursos financieros internacionales destinados al desarrollo sostenible, después de la CNUMAD los países subdesarrollados han continuado insistiendo en que se garantice la universalidad de la membresía del Fondo para el Medio Ambiente Mundial -*Global Environment Facility (GEF)*-, así como la participación de las tres agencias que lo integran (Banco Mundial,

⁶ Debe tenerse en cuenta que la deuda externa de este grupo de países supera los 1.8 billones de dólares.

PNUD y PNUMA) en igualdad de condiciones, y una total transparencia y acceso a la información requerida.

Hasta el momento, las escasas iniciativas que pretenden vincular la solución al problema de la deuda y la protección del medio en el Tercer Mundo han tenido un alcance muy limitado. Tal es el caso de los **canjes de deuda por naturaleza**, según las condiciones del mercado secundario de deudas. Entre mediados de los años 80 y comienzos de los 90, que fue el período de mayor auge de las operaciones de cambio de deudas por naturaleza, el monto de deuda involucrado fue de unos 100 millones de dólares para el conjunto de los países subdesarrollados. De ese monto total, 93% correspondió a Latinoamérica -cerca de 80 millones de dólares pertenecían a Costa Rica-; 6% a África y 1% a Asia (WRI, 1992: 309).

Entre las limitaciones de este "novedoso" instrumento financiero debe considerarse, además de su sesgo inflacionario, que en algunos casos, los acuerdos logrados pueden limitar los derechos del gobierno deudor sobre determinadas áreas protegidas o recursos naturales. También puede suceder que los proyectos acordados no sean los que más interesan al país deudor, sino los más atractivos para la institución o gobierno extranjero que actúe como contraparte.

A juzgar por lo antes expuesto, los canjes de deuda por naturaleza están lejos de ser el mecanismo idóneo para vincular la solución al problema de la deuda externa con los esfuerzos para enfrentar los problemas ambientales de los países subdesarrollados.

Con relación al fomento de **tecnologías con fines de protección ambiental o control de contaminación**, en el área desarrollada se registran los mayores avances, destacándose algunos países como Alemania, que muestran un progreso notable. Este país ha logrado combinar un crecimiento sostenido del PIB con reducciones significativas en los niveles de contaminación, y destina anualmente el 1.7% del PIB al presupuesto de protección ambiental, sólo superado por Dinamarca (1.9% del PIB). En 1993 Alemania captaba cerca del 21% del mercado mundial de este tipo de tecnologías.

En lo referido a la transferencia internacional de tecnologías ambientalmente idóneas, el requerimiento de un mayor acceso de los países subdesarrollados a los nuevos adelantos tecnológicos choca con las nuevas estrategias corporativas y las actuales políticas comerciales de los países industrializados, que tienden a imponer normas más estrictas y uniformes para la protección de la propiedad intelectual.

Además de las limitaciones antes mencionadas, cabe señalar que los países subdesarrollados no deben descansar únicamente en la transferencia de tecnologías desde el Norte industrializado, sobre todo si se tienen en cuenta los efectos contradictorios de este proceso. Como han demostrado algunos autores, las tecnologías transferidas suelen ser portadoras, en muchos casos, de procesos sociales ajenos a las prioridades e intereses de los países receptores (ver Monreal, 1987).

Por tanto, resulta necesario el desarrollo de capacidades tecnológicas endógenas en los países subdesarrollados, a los efectos de reducir la dependencia de las tecnologías importadas y dar solución a determinados problemas que sean propios de esos países, para los cuales no existan tecnologías disponibles en el exterior.

Especial atención debe brindarse a las posibilidades de fomentar la transferencia de ciertas tecnologías ambientalmente idóneas entre países subdesarrollados, así como a la colaboración Sur-Sur en materia de formación de personal calificado, ampliación de las capacidades de I-D, entre otras áreas.

Con relación a la generación y difusión de tecnologías ambientalmente idóneas, cabe apuntar que hasta el momento, a nivel internacional, se ha avanzado preferentemente en el desarrollo de tecnologías ambientales de fase final, destinadas a controlar la contaminación o remediar el daño ecológico; en lugar de dar mayor prioridad a aquellas tecnologías limpias orientadas a reducir significativamente (o eliminar) el daño ambiental, desde las primeras fases del ciclo productivo, lo que supone cambios significativos en los patrones de producción y consumo. Según algunas estimaciones, el mercado global de las tecnologías ambientales a mediados de los 90 era del orden de los 250 mil millones de dólares (OECD, 1996: 8); y la mayor parte de este monto correspondía al comercio de tecnologías de fase final.

También resulta preocupante que, en muchas ocasiones, el suministro de ciertas tecnologías a países subdesarrollados se condicione a la aceptación por la parte receptora de desechos peligrosos generados en países desarrollados y que, supuestamente, podrían ser utilizados como fuentes de energía o material reciclable.

A comienzos de la presente década el 90% de los desechos peligrosos exportados hacia países subdesarrollados eran clasificados como "materias primas" o "material reciclable". Algunos reportes dan cuenta, por ejemplo, de que diversas firmas comercializadoras de desechos han ofrecido plantas generadoras de electricidad a países como Sierra Leona, Belice, Angola y Egipto, a condición de que estos estados acepten la utilización de desechos peligrosos como combustibles para esas plantas (ver Clapp, 1994).

Adicionalmente, debe recordarse que históricamente una de las vías de exportación de contaminación desde el Norte industrializado hacia el Sur subdesarrollado ha sido la transferencia de tecnologías ineficientes y contaminantes, que han contribuido a la difusión de patrones de consumo y de funcionamiento económico derrochadores de materias primas y de energía en los países receptores.

La internacionalización del debate sobre medio ambiente y desarrollo ha coincidido en el tiempo con el auge del discurso y las prácticas neoliberales a nivel mundial. Esta ola neoliberal, que pretende rescatar la filosofía del libre juego de las fuerzas del mercado, como fórmula infalible para corregir los desequilibrios económicos, se ha reforzado, particularmente, después del derrumbe del campo socialista en Europa en 1989. En estas condiciones, la idea acerca del "mercado verde", o sea la aplicación de fórmulas neoliberales para resolver los problemas ambientales, también ha cobrado especial auge en los últimos años.

Aunque la práctica internacional ha demostrado que la participación activa de los gobiernos en la preservación de los recursos naturales resulta insustituible, aquellos que promueven la idea del "mercado verde" minimizan el papel del estado en la esfera de la protección ambiental y soslayan la contradicción existente entre los intereses comerciales a corto plazo, que tienden a acelerar la depredación del medio,

y la necesaria conservación de los recursos naturales, acorde con los intereses de la sociedad a más largo plazo.

En este sentido, pudiera destacarse el impacto ambiental altamente nocivo de los programas de ajuste macroeconómico, recomendados por el FMI a los países deudores. Estos programas de corte neoliberal no sólo tienen un alto costo ambiental directo, por la vía de la contracción de los presupuestos para fines ecológicos; sino que, además, contribuyen a agravar los desequilibrios sociales, en especial la pobreza. De esta forma también contribuyen, indirectamente, a la degradación del medio.

Sin dejar de considerar el sabor amargo y la profunda decepción que dejó en muchos la falta de compromisos concretos que caracterizó a la CNUMAD, Brasil/92, debe señalarse que posiblemente el principal logro de esa conferencia fue el reconocimiento de que la protección ambiental y el desarrollo económico requieren soluciones globales. Por vez primera se logró consenso al más alto nivel gubernamental para adoptar un nuevo enfoque sobre el desarrollo, en que la erradicación de la pobreza y la protección del medio estén estrechamente vinculadas.

Ya en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Humano (Estocolmo/72), los países subdesarrollados habían demandado la incorporación de los problemas del desarrollo en la agenda del cónclave y lograron cierto éxito en sus empeños, aunque en los veinte años posteriores a esa conferencia, los aspectos relacionados con el desarrollo fueron temas secundarios y casi nunca tomados en cuenta seriamente.

Como se explicó antes, algunos autores definen el intento por integrar los factores y objetivos sociales, económicos y ecológicos con una perspectiva de largo plazo, bajo el concepto de "ecodesarrollo". Este enfoque exige una reestructuración activa de la economía de acuerdo con criterios ecológicos y de equidad, y promueve un estilo de desarrollo participativo. En otras palabras, a escala internacional se requeriría un orden mundial justo y equitativo, que garantice la necesaria cooperación y la participación voluntaria de todos los países.

Un análisis integral de la relación entre medio ambiente y desarrollo en el actual contexto internacional debe tomar en consideración la deuda ecológica del mundo

desarrollado y la persistencia de un entorno de subdesarrollo, pobreza y deterioro ambiental, que afecta a las tres cuartas partes de la humanidad.

Por un lado, los patrones de desarrollo seguidos por los países industrializados han ocasionado los mayores daños al ecosistema, sobre todo si se analiza el deterioro del medio desde una perspectiva histórica. Estos países, que sólo cuentan con el 25% de la población total, controlan las cuatro quintas partes del ingreso mundial, y consumen el 75% de los recursos naturales que se comercializan, el 70% de la energía, el 75% de los metales y el 85% de la madera **(Pronk y Haq, 1992: 13)**.

Entre otras cosas, los países de la OCDE absorben entre el 40% y el 60% del consumo mundial de importantes producciones de origen mineral tales como los combustibles fósiles (43%) -petróleo (50%)-; acero (40%); aluminio (58%); cobre (58%); plomo (55%); níquel (59%); estaño (53%) y zinc (46%). Consecuentemente, estos estados aportan más del 50% de las emisiones de gases del efecto invernadero, incluida la producción de alrededor del 90% de los clorofluorocarbonos -que son además los principales causantes del deterioro de la capa de ozono estratosférico-; emiten la mayor parte de los gases que provocan las precipitaciones ácidas, es decir, 40% del dióxido de azufre y 54% de los óxidos de nitrógeno; y generan el 68% de los desechos industriales **(WRI, 1992: 17-18)**.

En este sentido, debe destacarse además la enorme responsabilidad de las empresas transnacionales con el deterioro del medio. Estas empresas, que controlan la cuarta parte de los activos productivos mundiales, el 70% del comercio internacional, el 80% de la tierra dedicada a cultivos de exportación y la mayor parte de las innovaciones tecnológicas realizadas a nivel internacional; son responsables, por ejemplo, de más del 50% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, la pobreza ha sido identificada como uno de los principales obstáculos para un desarrollo ambientalmente seguro ya que la mayoría de los pobres (60%) viven en áreas ecológicamente vulnerables. En las naciones subdesarrolladas alrededor de 1000 millones de personas carecen de suministro de agua potable y 1700 millones no tienen acceso a los servicios de saneamiento; alrededor de 17

millones de personas mueren al año por contraer enfermedades infecciosas y parasitarias tales como la diarrea, la malaria y la tuberculosis; unos 800 millones de personas presentan déficit alimentario; casi mil millones de personas (35% de la población adulta) es analfabeta; alrededor de un tercio de la población total (unos 1,3 mil millones de personas) se hallan en condiciones de absoluta pobreza; 850 millones de personas viven en áreas afectadas por la desertificación y podría haber 14 millones de "refugiados ambientales" (UNDP, 1993-96).

En muchas ocasiones, estas poblaciones, que viven en condiciones de absoluta pobreza, no tienen otra alternativa que depredar el medio ambiente para intentar sobrevivir y, como se trata de economías subdesarrolladas y altamente dependientes de las exportaciones de productos básicos, al erosionarse el medio se afectan sensiblemente las principales fuentes de ingresos exportables. Se estima que alrededor del 45% de los ingresos por exportación del Tercer Mundo corresponde a los productos básicos y en el caso de la región africana esta proporción asciende al 90%.

En contraste con lo que sucede en los 24 países más industrializados del mundo (los miembros de la OCDE), donde a finales de los años 80 el producto nacional bruto (PNB) ascendía a unos 15 billones de dólares y el PNB per cápita era de unos 17500 dólares anuales; en los 41 países más subdesarrollados (los llamados países menos desarrollados) el PNB por habitante era inferior a los 580 dólares al concluir la llamada "década perdida para el desarrollo", y en 12 de estos países ese indicador estaba situado por debajo de los 250 dólares. En 1992 la mitad más pobre de la población mundial absorbía menos del 15% del PIB global; mientras que el 15% más rico concentraba más del 50% del PIB total (WRI, 1996: 161)

Tales datos, evidencian los muy desiguales niveles de distribución del ingreso entre el Norte y el Sur, lo que constituye uno de los mayores obstáculos para un desarrollo sostenible a nivel global. La Cumbre de Río/92 mostró que en torno al eje Norte-Sur se acumulan los más agudos contrastes en lo que respecta a la equidad y la justicia social.

En este contexto, las preocupaciones ambientales inmediatas de los países desarrollados difieren considerablemente con relación a las de los países subdesarrollados. Mientras que en los estados industrializados lo que está en peligro es la calidad de la vida; en las naciones subdesarrolladas lo que se defiende es el derecho a la vida y, por tanto, las principales preocupaciones ambientales de este segundo grupo de países están relacionadas con problemas tan acuciantes como la calidad del agua y la protección del suelo.

En franco contraste con las aspiraciones de equidad y justicia en las relaciones internacionales, el "nuevo orden mundial", que se va imponiendo en las esferas económica y política, obstaculiza el avance hacia una solución integral de los problemas del medio ambiente y el desarrollo. Este llamado "nuevo orden mundial" ha sido definido por algunos autores como un sistema unipolar en el orden político-militar y tripolar en el orden económico, con un marcado carácter asimétrico.

Un orden mundial, donde un reducido número de países imponen las reglas del juego al resto de la comunidad internacional resulta incompatible con el necesario enfoque integral y participativo que se requiere a la hora de establecer compromisos internacionales en materia de cooperación internacional, lucha contra la pobreza, ayuda financiera a los países subdesarrollados, transferencia de tecnologías ambientalmente idóneas, entre otros.

Además, se avanza con bastante lentitud en el proceso de incorporación de los resultados de la CNUMAD (Brasil/92) a las legislaciones nacionales y en la adaptación del contenido de la Agenda 21 a las realidades de los distintos países.

Así las cosas, no cabe dudas que a pesar del consenso generalizado alcanzado en Río de Janeiro/92 en relación con la necesaria integración entre las políticas de medio ambiente y desarrollo; aún se alzan fuertes obstáculos para aplicar en gran escala los criterios del "ecodesarrollo". Muchos de estos obstáculos se mantendrán mientras persista un "orden" mundial asimétrico y no se pongan en práctica nuevas fórmulas de cooperación internacional que tengan como base el reconocimiento de la responsabilidad histórica de los países altamente industrializados con el deterioro ambiental global y con el colapso socioeconómico del mundo subdesarrollado.

Las discusiones internacionales acerca del efecto invernadero, sus causas, sus implicaciones para los distintos grupos de países y la puesta en práctica de la CMNUCC, reflejan claramente la necesidad de un enfoque integral en el tratamiento de los problemas del medio ambiente y del desarrollo y la inminencia de una acción concertada de la comunidad internacional para mitigar los efectos del calentamiento global.

2.2. Tecnologías energéticas y cambio climático

En el debate internacional sobre medio ambiente y desarrollo, el vínculo entre tecnología, energía y medio ambiente ocupa un lugar central. Entre otras cosas, el sector energético ha sido identificado como la fuente más importante de los gases que contribuyen al efecto invernadero o calentamiento global y, consecuentemente, las medidas para el control del cambio climático están dirigidas, en lo fundamental a modificar los actuales patrones tecnológicos de producción y consumo de energía.

El efecto invernadero es un fenómeno natural, en virtud del cual la energía irradiada por el sol, con una elevada frecuencia, atraviesa la atmósfera sin ser absorbida por los gases atmosféricos que rodean a la Tierra; pero cuando dicha energía es irradiada desde la Tierra, a una baja frecuencia, puede ser captada por los gases atmosféricos, provocando el calentamiento global.

De no existir este proceso de calentamiento natural no existiría la vida en la Tierra ya que la temperatura promedio de la superficie terrestre, en lugar de ser de unos 15 grados Celsio, sería inferior al punto de congelación del agua, que es de alrededor de -18 grados Celsio.

Sin embargo, el efecto invernadero o calentamiento global ha sido objeto de una creciente preocupación internacional en las últimas décadas, debido a la rapidez con que ha aumentado la concentración, en las capas bajas de la atmósfera, de ciertos gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el ozono troposférico (O_3) y los clorofluorocarbonos (CFC) (ver Anexo II.1).

Diversas fuentes especializadas se refieren a las altas temperaturas que caracterizaron al decenio del 80, como una posible consecuencia del calentamiento global. En efecto, la pasada década ha sido la más calurosa, desde que se tienen registros confiables, e incluye a seis de los años con registros de temperatura más elevados (1989, 1988, 1987, 1983, 1981 y 1980). Esta tendencia ha continuado manifestándose en el presente decenio, al punto que 1990 fue aún más caliente y 1992 clasifica como uno de los 10 años más calurosos, a pesar de que la erupción del volcán Pinatubo (Filipinas) provocó cierta disminución de la temperatura en ese año al devolver radiación al espacio (ver IPCC, 1992; y GREENPEACE, 1994).

De acuerdo con las últimas estimaciones del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), divulgadas en 1996, la duplicación de las concentraciones de CO₂ con relación a los niveles anteriores a la Revolución Industrial (280 partes por millón en volumen), ocurriría en algún momento del próximo siglo y provocaría ascensos de temperatura de 1.5°C a 4°C. Si se mantienen las actuales tendencias en las emisiones de GEI, la temperatura media global aumentaría en 2°C durante próximo siglo; y consecuentemente, se producirían incrementos en el nivel del mar que pudieran ser del orden de 0.5 metros en el año 2100. (WRI, 1996).

Estas transformaciones climáticas traerían consigo, entre otras cosas, grandes inundaciones en zonas costeras, que afectarían a los países de costas bajas y amenazarían la existencia misma de pequeños estados insulares. Adicionalmente, se alterarían los regímenes de lluvia; ocurrirían cambios en los ecosistemas marinos; aumentaría la probabilidad de que se produzcan fenómenos tales como los huracanes, ciclones tropicales y tifones; y se incrementaría la vulnerabilidad de las zonas templadas ante las enfermedades tropicales.

En un intento por valorar económicamente algunos de los daños antes mencionados, varios estudios señalan que un incremento de la temperatura promedio de 2.5°C, derivado de la duplicación de los niveles de CO₂ en la atmósfera, con relación al período preindustrial; podría ocasionar perjuicios económicos del orden de 1% a 1.5% del PIB en los países desarrollados y de 2% a 9% en los países

subdesarrollados, con mayores afectaciones en los estados insulares (WRI, 1996: 323).

Si bien la literatura consultada (WRI, 1990-1996) muestra el alto grado de incertidumbre existente con relación a los plazos en que se materializarían los efectos adversos del calentamiento global, la distribución geográfica de los mismos, etc.; en sentido general, resulta evidente la existencia de un consenso internacional acerca de las implicaciones negativas de las crecientes emisiones de los gases de efecto invernadero. Sin embargo, ciertas fuentes, como es el caso del estudio **Changing Weather? (1995)** de la firma comercial Acclu-Weather (EE.UU), tienden a restarle importancia a este tema.

Frecuentemente, la posición de muchos de los agentes que niegan o subestiman las implicaciones del sector energético en relación con el efecto invernadero y con la posibilidad de un cambio climático significativo, se explica por el alto grado de comprometimiento de dichos agentes con los intereses de compañías dedicadas a inversiones en combustibles fósiles, o de países que cuentan con grandes reservas de hidrocarburos.

Se calcula que el sector energético es el responsable de más de la mitad del calentamiento global, debido al predominio de los combustibles fósiles (carbón mineral, petróleo y gas natural) en el consumo de energía. Los combustibles fósiles representan más del 90% del balance mundial de energía comercial y aportan alrededor de un 80% de las emisiones de CO₂, que es el principal gas del efecto invernadero (WRI, 1996: 317).

Después de la Segunda Guerra Mundial, pueden identificarse con claridad tres períodos en la evolución de las emisiones de carbono (1950-1973, 1973-1983 y 1983-90s). Entre 1950 y 1973, tales emisiones crecieron rápidamente, a un ritmo promedio anual de 4.6%, debido en lo fundamental al dinamismo mostrado por el consumo de combustibles fósiles en los países desarrollados.

En los diez años que van de 1973 a 1983 se produjo una notable desaceleración de las emisiones de carbono, al registrarse una tasa de crecimiento de 0.9% promedio anual. Esta desaceleración fue el resultado de la severa contracción

del consumo energético mundial, condicionada por las elevadas cotizaciones del petróleo vigentes en esa etapa.

Después de 1983, el deterioro de las cotizaciones de los hidrocarburos en los mercados internacionales ha estimulado cierto repunte del consumo mundial de energía, en general, y de combustibles fósiles, en particular y consecuentemente el nivel de las emisiones de carbono creció a una tasa promedio anual de 2.1% hasta 1992 (**WRI, 1996: 330**). El consumo mundial de combustibles fósiles aumentó en 15.5% entre 1986 y 1996 (16.6% en los países de la OCDE).

De acuerdo con estadísticas de la Agencia Internacional de Energía (AIE), las emisiones mundiales de carbono (excluyendo a la ex-URSS y a Europa del Este) crecieron en 2.1% promedio anual entre 1971 y 1992; mientras que el consumo energético mundial creció en 2.5%, lo que significó un mejoramiento promedio anual de la intensidad de carbono por unidad de energía de alrededor de 0.4%. Tal comportamiento se explica en alto grado por el crecimiento de la energía nuclear en ese período (**Priddle, 1995**).

En el presente se emiten unos 26 mil millones de toneladas anuales de CO₂ - equivalentes a unos 7 mil millones de toneladas de carbono- y de mantenerse las tendencias actuales, ese monto se duplicaría hasta alcanzar o superar los 52 mil millones de toneladas de CO₂ en el año 2030 (**WRI, 1996: 316**).

En ausencia de medidas concretas para reducir las emisiones de CO₂ en un futuro próximo, las emisiones de este gas provenientes del sector energético aumentarían de 5.15 miles de millones de toneladas de carbono (MMTC) en 1985 a 7.3 MMTC en el año 2000 y 12.43 MMTC en el año 2025 (**ver Anexo II.2**)

En su investigación "Energía y Tercera Revolución industrial", Cazadero (1988), se refiere en líneas generales al efecto invernadero, cuando evalúa las implicaciones ambientales adversas del sector energético; aunque debe tenerse en cuenta que la mayor difusión de investigaciones y estudios sobre este tema ha tenido lugar, precisamente, después de 1988, fecha en que se creó el IPCC, en estrecho vínculo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y con el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

En lo que resta de siglo, el aporte del CO₂ al calentamiento global pudiera incrementarse de alrededor de un 50% en la actualidad hasta más de 60% en el año 2000, si se cumple lo establecido en el Protocolo de Montreal⁷, en relación con la eliminación de los CFC (WRI, 1990: 24).

A nivel internacional, los países altamente industrializados con sólo el 15% de la población mundial son los mayores emisores de los gases que aceleran el calentamiento global. Estos países han basado su desarrollo, en alto grado, en la utilización intensiva de combustibles fósiles y en la actualidad, según cálculos conservadores, consumen cerca del 53% de la demanda mundial de esos combustibles y generan más del 50% de las emisiones totales de gases del efecto invernadero. En 1992 los países de la OCDE emitieron 11.5 toneladas métricas anuales de CO₂ por habitante; es decir, casi siete veces más carbono per cápita que el resto del mundo. EE.UU. se ubica en el primer puesto en cuanto a las emisiones per cápita de CO₂, con 19.1 toneladas métricas anuales (Priddle, 1995 y WRI, 1996).

Tabla T2.1

Principales emisores de CO₂ proveniente de la actividad industrial, 1992

Lugar	País	CO ₂ (miles de TM)	Parte del total (%) (*)
1	Estados Unidos	4 881 349	21.9
2	China	2 667 982	11.9
3	Federación Rusa	2 103 132	9.4
4	Japón	1 093 470	4.9
5	Alemania	878 136	3.9
6	India	769 440	3.4
7	Ucrania	611 342	2.7
8	Reino Unido	566 243	2.5
9	Canadá	409 862	1.8
10	Italia	407 701	1.8

Notas: (*) Las emisiones de CO₂ derivadas de la actividad industrial totalizaron 22.3 mil millones de toneladas métricas, lo que representa el 84% de las emisiones totales.

Fuente: WRI (1996: 318)

⁷ Bajo las provisiones del Protocolo de Montreal, de la Convención de Viena sobre las sustancias que degradan la capa de ozono (1985), el 1 de enero de 1996 debió concluir la producción de CFC en los países desarrollados; en tanto que los países subdesarrollados tendrían un período de gracia de 10 años para eliminar la producción de esos gases, que erosionan la capa de ozono y contribuyen al calentamiento global. Aún considerando que todas las partes cumplan lo establecido en el Protocolo de Montreal, las emisiones pasadas de CFC continuarían erosionando la capa de ozono estratosférico durante décadas, y la completa recuperación de dicha capa no ocurriría antes del año 2100 (WRI, 1996: 316).

Como muestra la **tabla T2.1**, ocho de los diez principales emisores de CO₂ proveniente de actividades industriales son países desarrollados y en su conjunto aportan el 48.9% del total emitido por esas fuentes.

En este sentido, resulta oportuno recordar que la mayoría de los gases de efecto invernadero tienen una larga permanencia en la atmósfera, de modo que no sólo se trata de analizar la contribución actual de los países industrializados al calentamiento global, sino además los efectos acumulados de tales emisiones, lo que evidencia la necesidad de examinar la deuda ecológica de estos países con la humanidad, desde una perspectiva histórica.

Los óxidos nitrosos tienen una permanencia en la atmósfera de alrededor de 150 años, el CO₂ entre 50 y 200 años, y los CFC más de 100 años. De acuerdo con cálculos del IPCC, se requeriría una reducción de las emisiones del orden del 60%, en el caso de los gases con larga permanencia en la atmósfera, si se pretendiera estabilizar las concentraciones de esos gases a los niveles actuales (**ver Rahman, et. al., 1993: 10**).

Los países subdesarrollados, donde residen las tres cuartas partes de la población mundial, absorben alrededor del 34% del consumo global de combustibles fósiles (**ver tabla T2.2**). En el caso del petróleo, por ejemplo, mientras el consumo per cápita de los países de la OCDE era de 13.7 barriles en 1995 (21.8 barriles en EE.UU.); en los países subdesarrollados era de apenas 1.7 barriles como promedio.

Tabla T2.2

Participación de la población mundial en el consumo de combustibles fósiles, 1995

Países	Consumo de comb. fósiles (% del total)	Población (%)	Consumo per cápita de comb. Fósiles (BPE)
OCDE	51.3	17	27.7
E.Este y ex-URSS	15.0	7	20.3
P.Subdesarrollados.	33.7	76	4.1

Nota: BPE: barriles de petróleo equivalente.

Fuentes: Calculado a partir de Pagá y Gürrer (1996).

Según fuentes especializadas, el principal aporte de los países subdesarrollados al calentamiento global está asociado a la destrucción de sumideros de CO₂ por la vía de la deforestación, que en el Tercer Mundo es provocada, básicamente, por las nuevas colonizaciones para fines agrícolas, la extracción de madera y por el empleo ineficiente de combustibles tradicionales de la biomasa, tales como la leña y el carbón vegetal.

Los combustibles de la biomasa representan alrededor de un 35% de la energía consumida en los países subdesarrollados, aunque en las naciones más pobres esta proporción supera en ocasiones el 90%; y en diversas regiones del mundo subdesarrollado el consumo de la leña ocurre a una tasa mayor que el ritmo de reproducción natural de ese recurso.

En general, se estima que a nivel mundial la deforestación aporta alrededor del 14% del efecto invernadero (49% es aportado por el sector energético, 24% por la industria no energética y 13% por la agricultura) (IPCC, 1992: 134).

Diversos estudios dedicados al cambio climático, a la hora de delimitar la responsabilidad de los distintos países con el efecto invernadero, tienden a equiparar los efectos de la deforestación tropical y de las emisiones de metano en los países subdesarrollados, asociados en gran medida a las condiciones de extrema pobreza que prevalecen en estas naciones, con las emisiones de CO₂ derivadas de un consumo excesivo y dilapidador de combustibles fósiles en los países desarrollados; cuando en realidad son dos fenómenos de naturaleza muy distinta.

En los años recientes, debido a la creciente relevancia del tema ambiental a escala internacional, en el sector de la energía ha comenzado a ganar fuerza gradualmente el ajuste a los patrones del nuevo paradigma energético, que, como se mencionó antes, tiene entre sus objetivos centrales el incremento de la eficiencia energética y el desarrollo de las fuentes renovables de energía, aún en condiciones de bajos precios internacionales de los hidrocarburos.

En el Capítulo 9 de la **Agenda 21**, se señala que los actuales patrones de producción y utilización de la energía no pueden ser sostenidos y que una forma de promover el desarrollo sostenible es mediante la reducción de los efectos adversos del

sector energético sobre la atmósfera. En este Programa de Acción de la CNUMAD, se reafirma la necesidad de avanzar de forma combinada en las dos direcciones básicas antes mencionadas: 1) promover el incremento de la eficiencia en la producción, transmisión, distribución y uso final de la energía; 2) establecer sistemas energéticos ambientalmente idóneos, basados preferentemente en las fuentes nuevas y renovables.

Así las cosas, en el curso de las negociaciones internacionales sobre el cambio climático, además de observarse el principio de que cada habitante del planeta tenga igual acceso a los recursos de la atmósfera, deben promoverse aquellas fórmulas que permitan a las naciones subdesarrolladas limitar las emisiones de gases de efecto invernadero y, al propio tiempo, sentar las bases para un proceso de desarrollo socioeconómico sostenido.

Tomando en consideración las posibles implicaciones negativas del calentamiento global, este ha sido uno de los temas más debatidos en las negociaciones internacionales sobre medio ambiente y desarrollo. Así, uno de los resultados de la CNUMAD (Brasil/92) fue la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

2.3. La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) es uno de los cinco principales resultados de la CNUMAD y su objetivo central es el control de las emisiones de gases de efecto invernadero. De acuerdo con la letra de la Convención, su objetivo último es lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida las interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático; y ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible (CMNUCC, 1992: 6).

Entre los puntos cruciales relacionados con la puesta en práctica de esta Convención se encuentran el cumplimiento de los compromisos de las distintas partes y los mecanismos para la transferencia de tecnologías ambientalmente idóneas. Como parte de la CMNUCC, el Organo Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico tiene entre sus líneas de trabajo la identificación de las tecnologías y conocimientos especializados que sean innovadores, eficientes y más avanzados en el control, prevención y mitigación del efecto invernadero; el asesoramiento para promover el desarrollo o transferir dichas tecnologías; y el apoyo al desarrollo de capacidades tecnológicas endógenas en los países en desarrollo (CMNUCC, 1992: 17).

Una de las limitaciones fundamentales de la CMNUCC, que fue firmada por más de 150 países durante la CNUMAD de Brasil/92 y entró en vigor el 21 de marzo de 1994, es que no recoge ningún compromiso concreto en relación con la reducción de los niveles de emisiones, debido principalmente a la posición asumida por los representantes de los EE.UU., que inicialmente se opusieron a establecer límites o plazos en este sentido. No obstante, antes de que entrara en vigor la CMNUCC todos los países industrializados se habían comprometido a tomar medidas para estabilizar sus emisiones de GEI en el año 2000 a los niveles de 1990.

El arduo proceso negociador que ha tenido lugar después de la CNUMAD (1992), en materia de cambio climático ha girado, en lo fundamental, en torno a las Conferencias de las Partes (COP), cuya primera edición (COP-1) se celebró en Berlín (1995) y la más reciente (COP-3) en Kyoto, Japón (diciembre de 1997). Entre los temas centrales de las discusiones se encuentran los instrumentos o mecanismos para materializar los objetivos de la Convención.

Considerando el impacto adverso del sector energético sobre el medio ambiente, especialmente en lo relacionado con el reforzamiento del efecto invernadero y con la posibilidad de que ocurra un cambio climático significativo, muchas de las propuestas de acción de la Convención van dirigidas a modificar sustancialmente los patrones de producción y consumo de energía, lo que requeriría cuantiosos recursos. Según estimaciones del PNUD, se requerirían inversiones anuales del orden de los

200 mil millones de dólares, sólo para reestructurar el sistema energético global sobre bases sostenibles (Speth, 1995: 6).

Entre las medidas de mitigación, propuestas para limitar las emisiones de gases del efecto invernadero derivadas del sector energético, se dedica especial atención al incremento de la eficiencia energética y al fomento de las fuentes alternativas a los combustibles fósiles, sobre todo aquellas consideradas como fuentes nuevas y renovables. En este sentido, los objetivos de la Convención tienen una gran afinidad con los patrones del nuevo paradigma energético, definido en el primer capítulo de este trabajo.

De acuerdo con estudios científicos especializados, aunque se logre estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero en los actuales niveles; las concentraciones ya existentes de estos gases implicarían una elevación de la temperatura promedio mundial de 0.5% a 2%. Teniendo en cuenta estos argumentos y los plazos relativamente largos de las inversiones en nuevas tecnologías energéticas, además de las medidas de mitigación del calentamiento global, se requerirían programas de adaptación a las altas temperaturas que se esperan.

En lo referido a los instrumentos o mecanismos para hacer cumplir los objetivos de la Convención, dos de los más debatidos a nivel internacional son los **impuestos energéticos** y los **permisos de emisión negociables**.

Con el propósito de estabilizar y luego reducir las emisiones de CO₂, en algunos países desarrollados se ha lanzado la propuesta de poner en práctica nuevos **impuestos energéticos**. Así, por ejemplo, algunos países como Finlandia, Holanda, Suecia y Noruega ya han establecido nuevas políticas impositivas nacionales con fines ambientales, que afectan a los combustibles fósiles.

Después de la CNUMAD (1992), la administración demócrata del Presidente Clinton, en los EE.UU., también estableció un impuesto sobre la gasolina, como parte de su compromiso de revisar la política norteamericana frente al efecto invernadero, aunque la magnitud de este impuesto (4.3 centavos por galón) quedó muy por debajo de la propuesta inicial del gobierno.

Por su parte, la Comisión Europea, desde antes de la CNUMAD, había propuesto mantener hasta el año 2000 aproximadamente el mismo nivel de emisiones de CO₂ que en 1990 y para esto se había recomendado la adopción de un impuesto, que en un 50% sería cubierto por todas las fuentes de energía, incluyendo a la energía nuclear, mientras el 50% restante sería aportado por los combustibles fósiles.

Este impuesto, cuyo monto aumentaría de 3 dólares por barril de petróleo equivalente (BPE) en 1993 a 10 dólares por BPE en el año 2000, chocó con la oposición del empresariado comunitario, basada en las posibles pérdidas de competitividad asociadas a esta práctica. Igualmente, los países de menor desarrollo y mayor intensidad energética dentro de la Unión Europea, tales como España y Portugal, también expresaron reservas en torno al posible impacto del impuesto sobre sus economías.

En diciembre de 1994, luego de casi tres años de debate, esta propuesta impositiva fue abandonada, y todo parece indicar que sólo se reanalizaría la viabilidad de la misma en caso de adoptarse acciones similares en los otros miembros de la OCDE.

Un estudio realizado por el Secretariado de la OPEP muestra que para mantener el nivel de emisiones de 1990 en el año 2000 y reducirlo en 20% hasta el año 2010, se requeriría un nivel de impuestos que, para el conjunto de países de la OCDE, aportaría ingresos de unos 946 mil millones de dólares en el año 2010 (en dólares de 1991), lo que representaría el 4.3% del PIB de la OCDE en ese año (Walker, 1992).

Según los distintos escenarios explorados en ese estudio, con la generalización de esta política impositiva en la OCDE, el PIB de los países subdesarrollados registraría pérdidas acumuladas de entre 600 y 3700 miles de millones de dólares (en dólares de 1991) entre 1993 y el año 2010. Estas pérdidas se estiman sobre la base del impacto negativo que tendría para las economías subdesarrolladas la contracción de sus principales mercados en el área industrializada, derivada de mayores impuestos a la energía.

En el área subdesarrollada los más afectados con la generalización de los impuestos energéticos serían los países exportadores de petróleo, que verían reducirse notablemente sus ingresos en divisas como resultado de una menor demanda petrolera en la OCDE. Se calcula que las pérdidas acumuladas de ingresos de los países de la OPEP en el período 1993-2010 podrían ascender a unos 850 mil millones de dólares. Por tales razones, los países exportadores de petróleo han expresado su rechazo a tales políticas impositivas, por considerarlas como "una amenaza a sus medios de vida".

Si llegaran a generalizarse las políticas de impuestos energéticos en el área industrializada y se hicieran realidad los pronósticos antes señalados, los países desarrollados deberían asumir las responsabilidad que les corresponde en las compensación de las pérdidas que puedan sufrir los países subdesarrollados. Por ejemplo, una parte de los recursos captados mediante impuestos energéticos en la OCDE pudiera ser transferida al Tercer Mundo como financiamiento para el "desarrollo sostenible".

Algunos autores (Goldemberg, 1995) consideran que los impuestos energéticos, como componentes de las políticas dirigidas a "internalizar" los costos ambientales de los combustibles fósiles, permitirían a las fuentes nuevas y renovables competir en mejores condiciones.

Goldemberg (1995) propone la creación de un programa global para el financiamiento de la I-D en lo relacionado con tecnologías energéticas limpias y eficientes, que sería financiado por un impuesto de 1 dólar por tonelada de carbono emitido, lo que generaría ingresos anuales de unos 6 mil millones de dólares en condiciones como las actuales. Este gravamen incrementaría el precio del carbón, petróleo y gas, en \$1,1, \$0,9 y \$0,6, respectivamente, por tonelada de petróleo equivalente.

Dentro del conjunto de propuestas con vistas al logro de un acuerdo internacional para enfrentar el cambio climático, los **permisos de emisión negociables** suelen ser presentados como los más efectivos, flexibles y equitativos. De acuerdo con los partidarios de estos mecanismos, el objetivo fundamental sería el

de evitar la contaminación por la vía de la elevación de los costos, de tal manera que resulte más conveniente reducir las emisiones que asumir los costos.

Una de las principales ventajas que ofrecen los permisos de emisión negociables a nivel internacional, a juicio de sus promotores, es que contribuyen a limitar las emisiones de gases del efecto invernadero y al mismo tiempo garantizan los necesarios flujos de recursos financieros y de tecnologías hacia los países subdesarrollados. Se parte del supuesto de que se realice, por ejemplo, una distribución per cápita de los permisos de emisión, de tal forma que los países subdesarrollados tendrían un "excedente" de permisos de emisión y los países desarrollados un déficit (ver Epstein y Gupta, 1990).

Así, los países subdesarrollados que vendan los permisos "sobrantes", recibirían a cambio recursos financieros o tecnologías, que emplearían para realizar inversiones dirigidas a mejorar la eficiencia de sus economías.

Este mecanismo de mercado, aplicado entre agentes económicos con niveles de desarrollo tan desiguales tiende a favorecer a aquellos que tienen mayor poderío económico. Teniendo en cuenta este peligro, algunos autores (ver A. Agarwal y S. Narain, en Nadal, 1992) han propuesto un esquema alternativo de intercambio de permisos de emisión que excluye al sistema de libre formación de precios de los permisos y de esta forma se tiende a proteger a los países más pobres.

La aplicación de un sistema internacional de permisos de emisión negociables sería, por otra parte, virtualmente imposible en el corto plazo debido a que los países subdesarrollados aún no tienen compromisos de reducción de emisiones bajo la CMNUCC y, por lo tanto, resultaría muy difícil establecer un límite global de emisiones para proceder a su distribución por países. Es así que el debate internacional actual se ha concentrado en otro mecanismo: la llamada **aplicación conjunta**, considerado como un antecedente directo de un sistema internacional de permisos negociables (ver Sanhueza, et. al, 1994; y Jepma, 1995).

La **aplicación conjunta** (en Inglés *Joint Implementation*) es un término que define arreglos entre países para hacer cumplir conjuntamente los objetivos de la Convención, bajo criterios de "costo-eficiencia", según los cuales a nivel global las

medidas para enfrentar el cambio climático deben tomarse primero en aquellos países donde los costos de mitigación sean inferiores, léase en los países de menor desarrollo.

A manera de ejemplo, en su versión más simple, los acuerdos de aplicación conjunta implicarían que los países desarrollados financien proyectos de reducción de emisiones (ej. fomento de energías renovables) o aumento de sumideros de gases de efecto invernadero (ej. reforestación) en países subdesarrollados, donde el costo marginal de estos programas es menor que en los países industrializados, y luego los inversionistas se adjudicarían los créditos de los resultados que se obtengan.

Uno de los riesgos fundamentales que entraña este mecanismo es la posibilidad de que los países desarrollados eludan el cumplimiento de sus compromisos de reducción de emisiones en sus propios territorios.

A la hora de reflexionar en torno a la aplicación conjunta como uno de los mecanismos para materializar los objetivos de la Convención, deben tenerse en cuenta tanto la complejidad de este mecanismo como sus riesgos potenciales en los ordenes político, socioeconómico y ambiental, en un contexto internacional caracterizado por el creciente desbalance entre el poder negociador de los países desarrollados y el de los subdesarrollados, en detrimento de estos últimos.

En sentido general, la mayoría de los países subdesarrollados y numerosas ONG han expresado su preocupación con la puesta en marcha de este mecanismo y, entre otras cosas, demandan que:

- los proyectos de aplicación conjunta deben ser adicionales a los flujos de tecnologías y de recursos financieros que deben recibir los países del Tercer Mundo como AOD;
- los programas de aplicación conjunta deben ser coherentes con las prioridades nacionales y derechos soberanos de los países subdesarrollados y fomentar el desarrollo de las capacidades endógenas de estos países;
- la mayor parte de los programas de mitigación de los países desarrollados deben ser emprendidos en sus propios territorios (algunas ONG han fijado un mínimo de 80% de cumplimiento de compromisos del país desarrollado en su propio territorio);

- debe darse prioridad a los proyectos de aplicación conjunta que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, frente a los proyectos de fomento de sumideros mediante la reforestación u otra vía. (muchos países excluyen totalmente los proyectos de fomento de sumideros);
- la aplicación conjunta debe limitarse a aquellas actividades donde existan suficientes bases científicas, técnicas y económicas para evaluar adecuadamente los costos y beneficios;
- la puesta en práctica de este mecanismo debe ser gradual e incluir una fase piloto, en la cual no existiría compensación o "créditos" para el inversionista del país desarrollado en países subdesarrollados;
- la aplicación conjunta no debe ser utilizada por países industrializados para cumplir su compromiso de estabilizar sus emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2000 a los niveles de 1990;
- debe existir una total transparencia en el proceso de aplicación conjunta.

Hasta el momento no se ha logrado consenso internacional en relación con la forma de materializar y regular la aplicación conjunta; no obstante ya se han firmado algunos acuerdos bilaterales de esta naturaleza entre países desarrollados y subdesarrollados y en la COP-1 (Berlín/95) se acordó poner en marcha una fase piloto de aplicación conjunta.

De los 41 proyectos pilotos existentes a mediados de 1997, 27 estaban ubicados en países subdesarrollados -América Latina (22 proyectos), Asia (tres) y Africa (dos)- y 14 correspondían países de Europa del Este y Rusia. Entre los países que cuentan con programas oficiales de aplicación conjunta se encuentran Australia, Canadá, Costa Rica, Alemania, Japón, Holanda, EE.UU. y los países Nórdicos -Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia (**Joint Implementation Quarterly, v. 3, 1/1997**).

Ante estas realidades los gobiernos de los países subdesarrollados deben crear condiciones para capitalizar en beneficio de sus países los flujos de tecnologías y recursos financieros que puedan derivarse de la puesta en vigor de este tipo de instrumento y reducir al mínimo los riesgos que entrañan estas prácticas.

En sentido general, en la actualidad prevalece gran escepticismo en relación con el cumplimiento de los objetivos básicos de la Convención, sobre todo si se toman en consideración las previsiones de que, en ausencia de políticas efectivas para reducir el consumo de combustibles fósiles; para el año 2010 estos portadores energéticos (carbón, petróleo y gas) representarían las tres cuartas partes de la energía comercial demandada, aún considerando un crecimiento de las fuentes renovables.

En la Cumbre Climática de Berlín (1995), se señaló que los compromisos de los países desarrollados en materia de estabilización y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero no eran adecuados para dar cumplimiento a los objetivos de la Convención, y se acordó la negociación de un protocolo a partir de 1997 para adecuar dichos compromisos. Además, el "Mandato de Berlín" abogó por el diseño de programas concretos y por el establecimiento de metas de reducción de emisiones para los años 2005, 2010 y 2020.

De acuerdo con versiones preliminares del protocolo aprobado en la COP-3 (Kyoto, 1997), los países industrializados aceptaron, tras un intenso debate, a reducir sus emisiones de GEI entre los años 2008 y 2012, con relación a los niveles de 1990: EE.UU. en un 7%; la Unión Europea en un 8% y Japón en un 6%.

Aunque los países subdesarrollados no tienen hasta el momento compromisos de reducción de sus emisiones como parte de la Convención, están comprometidos a realizar inventarios de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero, e informar acerca de las medidas de mitigación que lleven a cabo.

Según algunos estimados, los costos anuales de mantener las emisiones de CO₂ en sus niveles de 1990 serían de 1%-2% del PIB de los países de la OCDE, con una perspectiva de largo plazo; y una sustancial reducción de dichas emisiones, en relación con los niveles de 1990, elevaría los costos a un 3% del PIB de esos países. No obstante, otros estudios, realizados con un enfoque "de abajo hacia arriba" (*bottom-up approach*), consideran que los costos para estabilizar y reducir las emisiones de CO₂ serían mucho menores, y en algunos casos despreciables ya que muchas de las mejoras en materia de uso eficiente de la energía se financian con los

ahorros derivados de un menor consumo energético⁸. Se calcula que entre un 10% y un 30% de la demanda energética mundial podría eliminarse sin grandes inversiones (WRI, 1996: 321).

Según la AIE, en ausencia de cambios significativos en los patrones energéticos mundiales, las emisiones de CO₂ derivadas del sector energético se incrementarían entre 30% y 40% en el año 2010, con relación al nivel de 1990, y más de la mitad de este incremento ocurriría fuera de la OCDE, donde las emisiones se duplicarían. En los países de la OCDE, el incremento sería de entre 11% y 24% (Priddle, 1995).

Además, en el período 1990-2030 es probable que la población mundial crezca en 3700 millones de habitantes y el 90% de ese crecimiento tendría lugar en las naciones subdesarrolladas; en consecuencia, se estima que la participación de los países subdesarrollados en las emisiones globales de CO₂ aumentaría de un tercio en la actualidad hasta más de un 50% en el año 2030 (ver Anexo II.2).

Teniendo en cuenta tales perspectivas, el "Mandato de Berlín" (1995) hizo énfasis en la necesidad de materializar el compromiso de los países desarrollados en lo relacionado con la transferencias de recursos financieros y tecnologías energéticas ambientalmente idóneas hacia las naciones de menor desarrollo.

En efecto, cualquier iniciativa para hacer frente al cambio climático debe partir de reconocer la responsabilidad de los países altamente industrializados con las emisiones históricas de gases del efecto invernadero -importante componente de la deuda ecológica del Norte-, así como los diferentes niveles de desarrollo entre el Norte y el Sur. De lo contrario, se acentuarían las relaciones de subordinación y dependencia del Sur respecto al Norte y se agudizarían los desequilibrios económicos, ambientales y sociales, que ya hoy día alcanzan proporciones alarmantes.

En resumen, los programas de mitigación del cambio climático, revelan la necesidad de avanzar en el sentido de una reestructuración energética sostenible,

⁸ Algunos estudios, realizados en Europa y EE.UU, se han dedicado a evaluar económicamente el posible impacto positivo derivado de las políticas de mitigación, y consideran que sólo los beneficios indirectos (no asociados al clima) de dichas políticas podrían compensar entre 30% y 100% de los costos de abatimiento (WRI, 1996: 324)

basada en el fomento de las fuentes renovables de energía y del ahorro energético. No debe olvidarse que el calentamiento global es un fenómeno de largo plazo, cuya mitigación debe verse en una perspectiva de largo plazo.

Capítulo III

Potencialidades y limitaciones internacionales para una reestructuración energética sostenible

Las diferentes formas de utilizar la energía, como insumo material, y sus formas de producción en cada país o región están condicionadas, entre otros factores por el nivel de desarrollo tecnológico; el nivel de desarrollo socioeconómico; la dotación o disponibilidad de recursos energéticos; aspectos ambientales; el estado de los mercados energéticos (precios de la energía); aspectos políticos; entre otros. En particular, la capacidad tecnológica de cada país o región juega un papel clave en la búsqueda de una correspondencia entre las disponibilidades de energía, por un lado, y las cambiantes necesidades de la sociedad, por otro lado.

Partiendo de estas consideraciones, una reestructuración energética global podría considerarse como el resultado combinado de complejos y, en ocasiones contradictorios, procesos y tendencias de carácter económico, político, tecnológico y ambiental, cuyo análisis permite identificar tanto los factores que potencian el avance en las direcciones requeridas, como los factores que limitan u obstaculizan dicho avance.

3.1. Principales dimensiones de una reestructuración energética sostenible

El término **reestructuración energética sostenible**, se refiere básicamente a un proceso de cambio significativo en las condiciones de producción y consumo de energía a escala global, que supone una modificación sustancial en la estructura del balance energético mundial, y que incorpora no sólo variables económicas, políticas, y sociales, sino también variables y consideraciones ambientales. De acuerdo con esta definición, la reestructuración energética sostenible, a que hace referencia esta investigación, estaría llamada a resolver diversos problemas, a escala planetaria, entre los que cabe mencionar:

- reducir el impacto ecológico adverso del sector energético. Uno de los objetivos principales sería evitar un ulterior deterioro ambiental, mediante la reducción de emisiones contaminantes derivadas preferentemente de la producción y el consumo de combustibles fósiles. El progreso que se logre en este sentido, contribuiría, entre otras cosas, al control paulatino del calentamiento global que está modificando el clima del planeta;
- atenuar las implicaciones negativas de la inestabilidad en el precio de los energéticos convencionales sobre las economías nacionales;
- prolongar la vida útil de los recursos energéticos no renovables para su aplicación en procesos industriales de transformación. Debe tenerse en cuenta que los combustibles fósiles se están agotando a una tasa 100,000 veces más rápida que la tasa a la que se formaron.

Como se señala antes en este trabajo, dada la naturaleza global de los problemas económicos y ecológicos que se pretende resolver con una reestructuración energética sostenible; la nueva transición energética sólo sería exitosa, en la medida en que tenga un carácter global.

Retomando lo expuesto en el Capítulo I (epígrafe 1.3), cabe recordar que los patrones del nuevo paradigma energético se orientan en tres direcciones básicas, que constituyen los elementos medulares de una reestructuración energética sostenible:

- Incremento de la eficiencia energética.
- Fomento de fuentes energéticas no fósiles, sobre todo las renovables. En este caso el objetivo básico sería incrementar la participación de las fuentes renovables en la medida en que resulte económica y ecológicamente factible.
- Sustitución de carbón y petróleo por gas natural, como elemento de transición entre los sistemas energéticos basados en combustibles fósiles y posibles sistemas futuros con mayor presencia de las fuentes renovables.

3.1.1. Incremento de la eficiencia energética

De los tres patrones básicos de una reestructuración energética sostenible, el referido al incremento de la eficiencia energética pudiera identificarse como la piedra

angular de ese proceso, en tanto supone que puede mantenerse un ritmo dado de crecimiento económico con una desaceleración, e incluso disminución, en el consumo de energía. En otras palabras, una política de conservación y eficiencia energética siempre estaría basada en un proceso de cambios e innovaciones tecnológicas dirigidos a obtener un nivel dado de producción y servicios con niveles decrecientes de consumo de energía.

Debe recordarse que el consumo energético de un determinado país depende, entre otros factores, de la utilización de energía por unidad de actividad económica; las dimensiones y estructura de la economía; los patrones de consumo y la etapa de desarrollo del país en cuestión; y la tasa de crecimiento poblacional. Tanto a corto como a mediano plazo, las políticas más efectivas para reducir la dinámica del consumo energético por unidad de producción están asociadas con el aumento de la eficiencia energética en los distintos sectores de la economía: agricultura, industria, sector residencial, comercial y público, y transporte.

En el **sector agrícola**, el consumo directo de energía absorbe alrededor del 3% de la demanda energética global y depende, entre otros factores, del clima, tipo de suelo, tamaño del área, grado de mecanización y sistemas de administración. Por tanto, las potencialidades de ahorro energético en las actividades agrícolas están asociadas a cambios en el uso y diseño del equipamiento; el perfeccionamiento de los sistemas de irrigación, secado y de producción; empleo de sistemas de arado a menor profundidad, entre otros.

El **sector industrial** consume más del 40% de la energía utilizada a nivel mundial, sobre todo para la producción de materiales básicos como metales, productos químicos, pulpa y papel, y minerales no metálicos; por lo que constituye uno de los objetivos centrales de las políticas energéticas sostenibles. En este sector, el consumo de energía también depende del grado de eficiencia en la utilización de insumos para la elaboración de productos intermedios o finales. En efecto, el uso de menos materias primas para producir los mismos o mejores productos contribuye a la transición hacia una infraestructura industrial con menor intensidad energética.

Gran parte del potencial para mejorar la eficiencia energética de los procesos industriales depende del grado en que dichos procesos se hayan aproximado a su límite termodinámico. En aquellos procesos que requieren temperaturas y presiones moderadas (ej. pulpa y papel) existe un potencial a largo plazo para reducir de forma significativa y continuada la intensidad energética; pero cuando se requieren temperaturas y presiones muy elevadas (ej. producción de acero) la posibilidad de contraer el consumo energético por unidad de producción, de forma continuada, resulta mucho más limitada.

En el **sector residencial y comercial**, que absorbe más de la tercera parte de la energía empleada en el mundo, el consumo energético incluye una gran variedad de aplicaciones o usos finales, tales como cocción de alimentos, climatización, alumbrado, refrigeración, equipos de oficina, calentamiento de agua, entre otros; y en cada una de estas aplicaciones existen importantes reservas para el ahorro y uso eficiente de la energía.

Los factores más importantes que condicionan el consumo energético de este sector son la dinámica poblacional, el crecimiento económico, el tipo de servicios energéticos que se demandan y el tipo de portador energético utilizado para satisfacer tales requerimientos.

En el **sector de transporte**, que capta alrededor del 20% de la demanda energética mundial, resulta preocupante tanto la rápida dinámica del consumo energético (superior al crecimiento de la demanda mundial de energía) como el predominio de los combustibles fósiles. La elevada dependencia de los combustibles fósiles en este sector se explica por los patrones estructurales existentes a escala global, donde el transporte por carretera representa alrededor del 73% del total.

La utilización de energía con fines de transporte puede reducirse por diversas vías, entre las que se encuentran el incremento de la eficiencia en las tecnologías de transportación, tanto de pasajeros como de cargas (ej. introducción de innovaciones para el ahorro de combustible); el empleo de sistemas de transporte menos intensivos en el uso de energía (ej. sustitución de transporte automotor privado por transporte

público); y el mejoramiento de la calidad de la infraestructura para el transporte (ej. carreteras y vías férreas).

En sentido general, el mejoramiento de la eficiencia energética constituye la opción más importante en el corto plazo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otras implicaciones negativas derivadas del sector energético. Debe tenerse en cuenta que la energía más barata es precisamente la que se logra ahorrar con fórmulas productivas más eficientes, por lo que puede considerarse al ahorro como una fuente energética alternativa en el contexto del debate sobre energía sostenible.

3.1.2. Fomento de fuentes energéticas renovables

Históricamente, las energías renovables fueron las únicas fuentes utilizadas por el hombre hasta que el carbón fuera usado por vez primera en el siglo XIII, el petróleo a finales del siglo XIX y el uranio a mediados del siglo XX. En el contexto actual, una política energética sostenible implicaría promover, de forma gradual pero sostenida, un mayor aprovechamiento de las distintas **fuentes renovables**, con el propósito de lograr un uso más racional de los hidrocarburos, prolongar su duración y preparar, también gradualmente, a la sociedad para la transición de la era del petróleo a una era energética con mayor participación de los recursos renovables.

Las fuentes renovables son aquellas suministradas por el sol, de forma directa (energía fotovoltaica y termosolar) o indirecta (energía eólica, hidráulica, mareomotriz, energía de las olas, la obtenida a partir del gradiente térmico de los océanos y la bioenergía). En esta clasificación también se incluye a la energía geotérmica, que es aportada por fuentes geológicas (de origen no solar), pero aprovecha recursos prácticamente inagotables.

En contraste, con las fuentes renovables, la energía de los combustibles fósiles, aunque también es energía solar acumulada durante largos períodos históricos, tiene un proceso de formación muy lento en comparación con los ritmos de consumo por

parte de la humanidad, por lo que es clasificada como un recurso finito o no renovable en un futuro previsible¹.

Con relación al aprovechamiento de la radiación solar, existen dos modalidades básicas: la energía termosolar o fototérmica y la energía fotovoltaica. Por un lado, las **tecnologías termosolares** o fototérmicas convierten las radiaciones solares en calor, con vistas a su utilización directa (ej. calentadores solares en instalaciones residenciales, comerciales o industriales) o indirecta (generación de electricidad en plantas termosolares).

El calentamiento de agua mediante el uso de calentadores solares es considerado como una de las formas más eficientes y baratas de aprovechamiento de la energía renovable, y los diseños tecnológicos varían de acuerdo con el clima de las zonas donde se ubican los usuarios. Por su parte, la generación eléctrica termosolar utiliza la luz solar para calentar fluidos de intercambio de calor, lo que permite obtener vapor de agua para ser utilizado en turbinas convencionales. En este caso, la radiación solar se concentra con espejos que siguen al sol.

Por otro lado, las **tecnologías fotovoltaicas** tienen como principio de funcionamiento el efecto fotovoltaico, conocido desde 1839, que supone la utilización de celdas para la conversión directa de la radiación solar en electricidad. Estas tecnologías fueron introducidas por el programa espacial de los EE.UU. en los años 50, y su principal aplicación a nivel internacional ha sido para la radio comunicación o la electrificación en lugares apartados.

La **energía eólica** es generada por las corrientes de aire de la atmósfera, que resultan de las diferencias de temperatura y presión del aire en zonas contiguas de la superficie terrestre. Esas diferencias de temperatura y presión son provocadas por el calentamiento no homogéneo del sol. En otras palabras, el viento es una manifestación indirecta de la energía solar y, por tanto, su presencia es inagotable.

La energía cinética del viento puede transformarse en energía útil, tanto mecánica como eléctrica. Mediante su transformación en energía mecánica, la

¹ Según estimados recientes, de mantenerse el ritmo de extracción de combustibles fósiles de 1996, las reservas existentes a finales de ese año tendrían una duración de 42.2 años para el caso del petróleo; 62.2 años para el gas natural y 224 años para el carbón (ver BP, 1997).

energía eólica se ha aprovechado desde tiempos remotos para mover embarcaciones o en los molinos de viento; sin embargo, su utilización en la generación de electricidad es más reciente.

Las primeras turbinas de viento datan del siglo XVII en Holanda, con diseños que predominaron hasta la aparición de modelos norteamericanos a mediados del siglo XIX. Los avances más recientes en áreas como la aerodinámica y los nuevos materiales han permitido la modernización acelerada de las turbinas generadoras de eoloelectricidad, que pueden interconectarse con las redes de electrificación o funcionar de manera aislada en zonas remotas.

Históricamente, el hombre también ha aprovechado, con fines diversos, la energía de las corrientes superficiales de agua, cuyo ciclo es propiciado por el sol, aunque las primeras turbinas para la generación de hidroelectricidad datan de mediados del siglo XIX. En el presente, el empleo fundamental de **hidroenergía** es en la generación de electricidad en grandes plantas conectadas a las redes de electrificación, o mediante pequeñas instalaciones ubicadas en zonas aisladas.

Una de las alternativas tecnológicas que ha sido objeto de amplia investigación en las últimas décadas, en materia de energía renovable, ha sido la obtención de hidrógeno a partir del agua, utilizando energía solar, eólica o hidráulica, y su posterior empleo como combustible prácticamente limpio, en cuanto a emisiones contaminantes. No obstante, la materialización de las expectativas creadas en torno a este combustible aún enfrenta serios problemas técnicos que solucionar, sobre todo en las fases de producción y almacenamiento.

En lo referido a la energía del mar, pueden mencionarse al menos tres modalidades: la **energía mareomotriz** o energía de las mareas; la **energía de las olas**; y la del **gradiente térmico de los océanos**. El aprovechamiento de la energía mareomotriz y de las olas requiere, como condición básica, la existencia de lugares con mareas que muestren gran fluctuación o de olas de gran altura, según sea el caso; en tanto que la tercera modalidad de utilización de la energía del mar consiste en aprovechar la diferencia entre la temperatura de la capa superior del océano y la inferior (gradiente térmico) para generar electricidad comercialmente.

La energía de la biomasa (**bioenergía**) es otra manifestación de energía solar acumulada durante períodos de tiempo relativamente largos. La madera y los residuos de biomasa (desechos agropecuarios, industriales y urbanos) han sido ampliamente utilizados por el hombre con fines energéticos, incluida la generación de electricidad.

Por su parte, la **geotermia** aprovecha el calor y el agua del subsuelo para transformarlos en electricidad. Los sistemas geotérmicos están localizados en áreas donde la superficie de la corteza terrestre es relativamente delgada y la energía contenida en un yacimiento es extraída mediante la perforación de pozos profundos, a través de los cuales asciende el flujo geotérmico.

En general, como se menciona en el Capítulo I, hasta el momento, en el campo de las tecnologías energéticas renovables no se ha dado el salto tecnológico requerido para una sustitución masiva y económicamente viable. Aún no se ha alcanzado, ni existen indicios de que se alcanzará a corto o mediano plazo, un grado de difusión tal de estas tecnologías que implique la creación de nuevas ramas productivas o la modificación profunda de los equipos de producción, como sucedió con el carbón y el petróleo en períodos históricos anteriores. En el más favorable de los escenarios, para las primeras décadas del siglo venidero cabría esperar un balance energético mundial con mayor presencia de las fuentes renovables, pero aún con una clara preponderancia de los combustibles fósiles.

No obstante, las potencialidades de las fuentes renovables podrían desplegarse a más largo plazo, en la medida en que se creen condiciones para competir con éxito frente a los combustibles fósiles; no debe olvidarse, que incluso el carbón y el petróleo, sólo devinieron factores clave del desarrollo tecnológico luego de un gradual proceso de avance y consolidación como fuentes energéticas.

En otras palabras, a pesar de las potencialidades existentes para un mayor aprovechamiento de los recursos energéticos renovables, el grado de avance en la sustitución de los actuales sistemas energéticos, basados preferentemente en la utilización de combustibles fósiles, por sistemas energéticos con una mayor participación de fuentes renovables dependerá de la solución de importantes

problemas tecnológicos, económicos, políticos e institucionales, que tienden a frenar esta transición energética.

3.1.3. Sustitución de carbón y petróleo por gas natural

Dado el necesario carácter gradual de una reestructuración energética sostenible a escala global y considerando el componente ambiental de la misma; no resulta casual que, junto a los esfuerzos por fomentar las energías renovables, se presente una tendencia a reducir la dependencia de los combustibles fósiles más contaminantes (carbón y petróleo), mediante la sustitución por combustibles fósiles menos contaminantes (**gas natural**).

Con el empleo de gas natural, las emisiones de CO₂ por unidad de energía se estiman en 15 kg C/GJ, mientras que en el caso del petróleo y el carbón tales emisiones ascienden a 20 kg C/GJ y 25 kg C/GJ, respectivamente. Además, en la actualidad se cuenta con amplias disponibilidades de gas natural a nivel internacional y, por lo general, la eficiencia de conversión de este combustible supera a la del carbón. Un cambio masivo de carbón por gas natural podría traducirse en una reducción de las emisiones de CO₂ por unidad de electricidad generada del orden del 50% (IPCC, 1996: 39).

Las plantas de ciclo combinado², basadas en la utilización de gas natural, cuentan en la actualidad con las más altas eficiencias de conversión (alrededor de un 45%), en comparación con las plantas generadoras de electricidad a partir de otros combustibles fósiles.

Esta tendencia, si bien no implica un cambio tan radical como la sustitución de combustibles fósiles por energía renovable, representa cierto grado de avance en el sentido de una reestructuración energética sostenible; sin embargo, cuando se sustituyen fuentes renovables por gas natural, como ha ocurrido en ciertos países en los últimos años, se está retrocediendo con relación a los propósitos de la sustentabilidad energética.

² El ciclo combinado se basa en el uso de turbinas de gas para mover un generador eléctrico, combinándolas con calderas de vapor que aprovechen el calor residual de los gases que escapan a la turbina.

Una mayor utilización del gas natural, en detrimento del petróleo y sobre todo del carbón traería consigo cambios en los patrones internacionales del comercio de energía, y demandaría importantes inversiones en infraestructura para la transportación, almacenamiento, distribución y uso final de este combustible, cuyas reservas internacionales, si bien son abundantes, se encuentran desigualmente distribuidas a escala mundial. Además, debe tenerse en cuenta que un mayor consumo de gas natural se traduciría en mayores emisiones de metano (CH_4), que es su principal componente, lo que requeriría adoptar medidas complementarias para contraer las emisiones de este gas de efecto invernadero.

Una vez identificados los problemas fundamentales a resolver por la reestructuración energética sostenible, y las direcciones fundamentales que la caracterizan, resulta de gran relevancia, a los efectos de esta investigación, destacar los factores que potencian o frenan el avance en el sentido de dicha reestructuración.

3.2. Factores que potencian o limitan la reestructuración energética sostenible

En los últimos treinta años, el avance en el sentido de una reestructuración energética global, se ha registrado bajo el efecto de dos factores principales: los altos precios del petróleo vigentes entre comienzos de los años 70 y mediados de los años 80, y las crecientes presiones ambientales, sobre todo a partir del pasado decenio. Como puede apreciarse, el primero de estos factores es de naturaleza eminentemente económica o de mercado, en tanto que el segundo rebasa las fronteras económicas.

3.2.1. Factores económicos e institucionales asociados a la evolución del mercado petrolero mundial

En lo referido a los mercados energéticos internacionales, debe tenerse en cuenta que el petróleo es y seguirá siendo todavía por algún tiempo el factor que determine los cambios y rija las velocidades de la transición energética. La evolución del mercado petrolero durante el presente siglo ha reflejado, básicamente, los cambios en la correlación de fuerzas y las interacciones entre tres grandes grupos de agentes:

los productores de hidrocarburos, los principales consumidores de energía (los países industrializados) y las empresas petroleras transnacionales.

El alza de precios en casi cuatro veces, decretada por la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) en 1973-74³, a raíz del embargo árabe a los países occidentales que apoyaban a Israel en la guerra árabe-israelí, tuvo efectos bastante disímiles para los distintos agentes que operan en el mercado petrolero; pero en sentido general catalizó, a nivel global, los esfuerzos dirigidos a reducir la intensidad energética y a fomentar las fuentes de energía renovables (**ver Anexo III.1**).

A partir del primer *shock* petrolero de 1973-74, se produjeron importantes cambios en la esfera energética mundial, tanto por el lado de oferta, como por el lado de la demanda, que se reforzaron a raíz de la escalada de precios ocurrida en 1979-81 (segundo *shock* petrolero), como consecuencia del triunfo de la Revolución Islámica en Irán y del inicio del conflicto bélico entre Irán e Irak.

Por el lado de la oferta, a partir de 1973-74 cobró especial auge la exploración y explotación de nuevas áreas petroleras, lo que condicionó el surgimiento de otros productores, que gradualmente fueron desplazando a la OPEP de sus mercados tradicionales (**ver Anexos III.2 y III.3**). Por el lado de la demanda, en ese período el consumo mundial de hidrocarburos perdió dinamismo de forma sostenida, fundamentalmente después del llamado segundo *shock* de los precios del petróleo.

La reducción del consumo de hidrocarburos se acentuó principalmente en los **países altamente desarrollados**, donde a la contracción de la demanda energética derivada de la profunda crisis económica de mediados de los años 70 y comienzos de los 80, se sumó la maduración de los importantes programas de ahorro, conservación y sustitución de petróleo, dirigidos a reducir la dependencia del crudo importado, en especial del procedente de la OPEP (**ver Anexos III.4 al III.6**).

Además, en la reducción tendencial de la demanda petrolera en esos países han tenido un impacto significativo los cambios estructurales ocurridos en esas

³ Esa escalada de precios y la ola de nacionalizaciones petroleras que tuvo lugar en la década de los años 70, tenían como objetivo estratégico transferir el control de las actividades de producción de crudo de las empresas transnacionales (en particular las llamadas "Siete Hermanas") a los gobiernos de los países productores.

economías después de la crisis económica de 1974-75, debido al impulso que recibieron determinados sectores o ramas caracterizados por una baja intensidad en el uso de energía, como son los casos de la informática, la electrónica, la robótica y la biotecnología.

En general, los países altamente desarrollados, si bien fueron sensiblemente afectados, se ajustaron con gran rapidez a la nueva situación, transfiriendo los altos precios de la energía hacia el exterior por la vía de las exportaciones. Además, no sólo llevaron a cabo de forma bastante generalizada programas de ahorro, conservación y sustitución de petróleo, sino que también realizaron importantes inversiones para explotar las reservas petroleras nacionales, con el objetivo de reducir el consumo y la importación de hidrocarburos.

Las empresas petroleras transnacionales, por su parte, fueron beneficiarias netas del alza de precios ya que el control que mantuvieron sobre las fases superiores del ciclo productivo (refinación y comercialización), les permitió obtener grandes beneficios mediante el aumento de los precios al consumidor final. Al mismo tiempo, se revaluaron sus reservas, se estimuló la actividad petrolera en zonas de altos costos, que resultaban rentables en las nuevas condiciones, y se favoreció el desarrollo de programas energéticos alternativos, lo que llevó a que las mismas se transformaran, en algunos casos, de transnacionales petroleras en transnacionales energéticas.

En relación con las **naciones del Tercer Mundo**, por una parte, los principales productores, agrupados en la OPEP, acumularon grandes excedentes financieros, que fueron reciclados en gran medida hacia los países capitalistas desarrollados para asegurar una colocación rentable en los mercados financieros internacionales.

De tal forma, esos recursos lejos de coadyuvar al desarrollo de las economías de los países subdesarrollados importadores de petróleo, como se esperaba, contribuyeron a la plétora de capitales existente en la segunda mitad de la década del 70, lo que aceleró el proceso galopante de endeudamiento externo del Tercer Mundo en ese período.

Por otra parte, para las naciones subdesarrolladas importadoras de hidrocarburos, el alza de los precios del petróleo tuvo un impacto sumamente

negativo, que se adicionó al ya preocupante deterioro de sus términos internacionales de intercambio. En este grupo de países, a diferencia de las naciones industrializadas, la adopción de medidas de ahorro y conservación de petróleo en gran escala fue imposible en el orden práctico, dadas las características de las tecnologías a que han tenido acceso, las cuales, por lo general, han requerido un uso intensivo de combustible (ver Anexos III.5 y III.6).

Ante esta situación, los países subdesarrollados importadores netos de hidrocarburos optaron, en la medida de sus posibilidades, por la explotación de las reservas petroleras nacionales y, en algunos casos, por el desarrollo de otras fuentes energéticas. Estos programas fueron financiados, en gran parte, con préstamos externos, obtenidos durante los años 70 con relativa facilidad.

En sentido general, los cambios estructurales ocurridos en la esfera energética mundial en 1973-85 se concentraron, en lo fundamental, en los países altamente industrializados y respondieron básicamente a razones económicas o de mercado (altas cotizaciones del petróleo); es decir, el objetivo fundamental era disminuir la dependencia de los hidrocarburos -sobre todo los importados-, y reducir la vulnerabilidad de las economías nacionales con relación a las súbitas elevaciones en los precios de la energía, particularmente petróleo.

Por lo tanto, en esta primera etapa no cabría asignar el calificativo de sostenible a la reestructuración energética llevada a cabo ya que, si bien algunos de los cambios estructurales ocurridos han resultado en gran medida irreversibles, las consideraciones ambientales no cuentan entre los factores principales que indujeron las transformaciones energéticas emprendidas en esos años.

En el plano mundial, la sobreoferta creada por el aumento de la producción petrolera fuera de la OPEP a partir de 1973-74, en condiciones en que el consumo global de hidrocarburos registraba una marcada tendencia decreciente, llevó a esa Organización a reducir unilateralmente la producción para mantener el control del mercado, sobre todo entre 1983 y 1985.

La puesta en práctica de esta política de producción tuvo un alto costo para la OPEP que, por una parte, no pudo evitar la caída sostenida de los precios entre 1981

y 1985 y, por otra parte, vio reducirse severamente su participación tanto en la producción como en la comercialización internacional de hidrocarburos.

Esta evidente pérdida de terreno de la Organización se tradujo en una acelerada disminución de los ingresos petroleros, cuyo monto en 1985 fue menos de la mitad del registrado en 1980, y creó las condiciones para una eliminación de los controles de producción y precios en 1986, liderada por Arabia Saudita. El notable incremento productivo en ese año, derivado del abandono de las cuotas productivas de la OPEP, provocó una caída de las cotizaciones del crudo en más de un 50% y, desde entonces, han persistido precios moderados o relativamente bajos en este mercado.

Hacia mediados de la pasada década habían madurado las condiciones, tanto del lado de la oferta como del lado de la demanda para el tránsito de un mercado petrolero de vendedores (durante los 70 y comienzos de los 80) a un mercado petrolero de compradores (1986-90s).

Como expresión de los cambios ocurridos en este importante mercado, las cotizaciones del petróleo, que alcanzaron un nivel récord anual superior a los 36 dólares por barril en 1981 (27.5 dólares por barril en 1985), durante la segunda mitad de los años 80 se mantuvieron en torno a los 14-18 dólares por barril, y entre 1990 y 1995 se situaron como promedio por debajo de los 18 dólares por barril, incluso considerando el alza de precios ocurrida en los últimos meses de 1990 como resultado del conflicto en el Golfo Árabe-Pérsico (**ver anexo III.1**).

Los últimos 10 años se han caracterizado por el mantenimiento de precios relativamente bajos, con efectos significativos sobre la oferta y la demanda internacional de crudo. En estas condiciones, algunos círculos económicos y políticos internacionales han postulado que el sector energético debe regirse fundamentalmente por las condiciones del mercado, lo que equivale a decir que la reestructuración energética sólo retomaría su ritmo y vitalidad como consecuencia de futuras conmociones en el mercado petrolero provocadas por elevaciones futuras de los precios de los hidrocarburos.

Luego del desplome de precios ocurrido en 1986, por el lado de la **oferta**, la producción mundial de petróleo se ha incrementado significativamente, pero más del 90% de dicho incremento productivo ha correspondido a los productores del Medio Oriente, que cuentan con las dos terceras partes de las reservas mundiales de petróleo. Por el lado de la **demand**a, los bajos precios del crudo también han condicionado un notable aumento del consumo petrolero mundial.

Reflexionando en torno a los efectos de precios relativamente bajos de los hidrocarburos durante los pasados diez años, cabe destacar que esta situación ha afectado en sentido general a todos los productores de crudo, aunque el grado de afectación varía en función de las condiciones de producción y de la dependencia en que se encuentran esas economías de los ingresos petroleros.

Los **países desarrollados** han logrado compensar en gran medida las pérdidas sufridas en los negocios vinculados con la producción energética, por la vía del consumo de un petróleo mucho más barato en otros sectores económicos. No obstante, cabe destacar la sostenida contracción de los niveles productivos en regiones petroleras como los EE.UU., donde la industria petrolera ha perdido un importante número de empleos, sobre todo en las actividades de exploración. En estos años se ha reforzado la preferencia de las compañías petroleras internacionales por las inversiones fuera de los EE.UU., ante las mayores regulaciones y costos de producción en este país, que por demás es la cuenca petrolera más explorada del mundo.

En relación con las grandes **empresas transnacionales** que operan en el sector petrolero, no debe pasarse por alto que en condiciones de elevados precios del petróleo no sólo fueron agentes muy activos en el desarrollo de nuevas áreas petroleras fuera de la OPEP y en el fomento de programas energéticos alternativos, sino que también reforzaron el control sobre las fases superiores del ciclo productivo (refinación y comercialización), lo que unido a la incursión en otras actividades económicas no energéticas, les ha proporcionado un alto grado de diversificación y gran capacidad de maniobra ante las sacudidas violentas en el mercado.

Así, lograron sortear en gran medida el desplome de los precios con la utilización de una materia prima mucho más barata en las operaciones de refinación y mediante el recorte de los presupuestos de exploración; fortaleciendo adicionalmente sus posiciones en el mercado, a través de la adquisición en gran escala de activos depreciados de aquellas compañías endeudadas o menos sólidas. Según algunos estimados, las principales firmas petroleras han logrado reducir los costos de inversión en alrededor de un 30% en los distintos segmentos productivos, lo que reduce su vulnerabilidad ante los bajos precios.

Además, desde mediados de los años 80 se ha reforzado el control transnacional sobre la producción y comercialización del crudo extraído en los países subdesarrollados.

Ciertamente, en la medida en que los gastos y riesgos relacionados con la exploración y la explotación de nuevas áreas petroleras han excedido la capacidad de esas economías para hacerles frente, se han ofrecido contratos con términos mucho más atractivos para las compañías extranjeras, se han reducido los impuestos a pagar por estas, se han abolido regalías y, en muchos casos, se ha debilitado el control directo por parte del estado de este sector tan estratégico. En este contexto de desregulación y privatización de los sectores energéticos nacionales se ha desestimulado la puesta en práctica de nuevos programas dirigidos a incrementar la eficiencia energética y a fomentar las fuentes renovables de energía.

Dentro de los **productores del mundo subdesarrollado** también pueden identificarse grados de afectación bastante disímiles. En el caso de la OPEP, la producción de petróleo se incrementó en un 62% entre 1985 y 1996, elevándose la participación de este grupo de países en la producción petrolera mundial de 29% a 39% en ese período; sin embargo, como resultado del desplome de los precios, los ingresos petroleros se han reducido sustancialmente. Tres de los principales productores de la cuenca del Golfo Árabe-Pérsico (Arabia Saudita, Kuwait y los Emiratos Arabes Unidos) lograron más que duplicar la extracción petrolera entre 1985 y 1996, mientras que en el resto de los países de la OPEP los incrementos productivos fueron mucho más modestos.

En este período, se ha registrado un reforzamiento considerable de la posición de Arabia Saudita dentro de la OPEP y la participación de este país en el total mundial producido se incrementó desde 6% en 1985 a más de 12% en 1996. Los planes sauditas para lo que resta de década apuntan hacia un aumento de la capacidad productiva desde 8 millones de barriles diarios (MBD) en la actualidad hasta 10 MBD.

No debe olvidarse que la política petrolera saudita tradicionalmente ha defendido un nivel de precios "moderado" que garantice la competitividad del petróleo a nivel internacional y que esté a tono con sus compromisos políticos con los países altamente industrializados. En la actualidad este país no cuenta con escollos significativos dentro de la OPEP para imponer su política de producción y precios.

Arabia Saudita, Kuwait y Emiratos Arabes Unidos han demostrado hallarse en mucho mejores condiciones que los demás países de la OPEP para hacer frente a los bajos precios del crudo ya que en sus territorios, donde se concentra menos del 4% de la población conjunta de la Organización, se localizan reservas petroleras probadas suficientes para más de 100 años de explotación.

Además, el crudo que se extrae de esa zona resulta altamente competitivo debido a los bajos costos de producción (2 dólares/barril o menos) y a su alta calidad, lo que unido al empleo de agresivas fórmulas de comercialización les permitió desplazar a otros productores menos eficientes en los mercados internacionales.

También debe apuntarse que, a diferencia del resto de los principales exportadores de petróleo del Tercer Mundo, que en su mayoría cuentan con abultadas deudas externas, los grandes productores del Golfo aún disponen de considerables activos en el exterior. Cuando se produjo la vertiginosa caída de precios en 1986, estos activos eran valorados en alrededor de 200 mil millones de dólares para Arabia Saudita, Kuwait y los Emiratos Arabes Unidos, en su conjunto.

Otros miembros de la OPEP, como Nigeria, Venezuela, Indonesia, Gabón y Ecuador⁴, junto al resto de los productores de petróleo del Tercer Mundo, resultaron ser los más afectados con el derrumbe de los precios debido a que en muchos casos se trata de naciones con grandes poblaciones y/o abultadas deudas externas. Estos

⁴ Este país se retiró de la OPEP en 1992.

países que en 1985 obtenían del petróleo entre el 65% y el 95% de sus ingresos en divisas y más de la mitad de los ingresos presupuestarios, a partir de la violenta caída de precios de 1986 se han visto en una situación económica sumamente restrictiva, que los ha obligado a emprender severas medidas de austeridad de carácter recesivo.

Por su parte, los países subdesarrollados importadores netos de hidrocarburos, si bien han registrado ciertos ahorros de divisas como consecuencia del abaratamiento del petróleo, estos han sido insignificantes ante las presiones derivadas de la deuda externa. Además, se ha puesto en peligro la rentabilidad de los proyectos energéticos alternativos que fueron emprendidos en periodos de altos precios del crudo.

En Europa del Este, las mayores pérdidas se han concentrado en la ex-URSS, donde las exportaciones petroleras aportaban el 60% de los ingresos en divisas cuando se produjo el colapso de los precios. De mediados de los 80 a 1996 la producción petrolera de la ex-URSS cayó en más de un 40%, debido al efecto combinado de problemas institucionales, encarecimiento de los costos de producción y transporte, retraso tecnológico, conflictos laborales en el sector y falta de definición en cuanto a las garantías a los inversionistas foráneos.

En los últimos años también se ha registrado una tendencia creciente hacia la reintegración vertical de la industria petrolera internacional. Un elemento significativo en este sentido ha sido la proliferación de inversiones llevadas a cabo por algunos productores de crudo del área subdesarrollada en las actividades de refinación y comercialización de los países industrializados.

Estas inversiones se traducen en seguridad de mercados de venta para los exportadores de petróleo que las realizan y en seguridad de suministros para los principales mercados de la OCDE, pero al mismo tiempo refuerzan la diferenciación entre los productores del Tercer Mundo y ponen en peligro el futuro de la OPEP en la regulación de los precios y la producción de crudos.

El liderazgo de Arabia Saudita y Kuwait en este tipo de operaciones desde el pasado decenio ha estado condicionado por la disponibilidad de grandes reservas petroleras y financieras. Estas acciones han contribuido a que se revitalicen considerablemente los vínculos entre los principales productores de la cuenca del

Golfo Árabe-Pérsico y amplios segmentos de los mercados de países industrializados⁵.

En general, pudiera decirse que a diferencia de los años 70 y principios de los 80 cuando predominaban las políticas petroleras basadas en criterios de seguridad nacional e independencia energética en los principales centros de poder económico y político; en las condiciones actuales, sobre todo después del conflicto en el Golfo de 1990-91 parece prevalecer la idea de la "interdependencia petrolera" entre países desarrollados y las principales cuencas petroleras a nivel internacional.

Como se ha apreciado, después de la guerra en el Golfo (1990-91) se ha abierto un nuevo período en las relaciones entre los principales productores y consumidores de petróleo ("nuevo orden petrolero mundial"), que favorece sobre todo a los países petroleros con grandes reservas de crudo, a las grandes compañías petroleras y a los principales importadores del este producto (los países altamente industrializados). Mientras prevalezca esta situación, no deben esperarse elevaciones persistentes de las cotizaciones del crudo, debido al grado de control existente de los precios por los principales agentes antes mencionados.

El lugar reservado para los países subdesarrollados importadores de petróleo en el "nuevo orden petrolero mundial" sería totalmente marginal y dependiente. Estos países sólo recibirían los efectos de lo que suceda en el mercado como resultado de la acción muchas veces concertada de los principales grupos de agentes que determinan la oferta y la demanda petrolera internacional.

Los productores de crudo del área subdesarrollada enfrentarían el reto de sopesar adecuadamente, en función de los intereses nacionales, las opciones que se abren ante ellos en medio de la actual reestructuración de la economía mundial. De lo contrario, la llamada "colaboración entre productores y consumidores" no pasaría de ser un mecanismo de renovada dependencia de los productores del Tercer Mundo respecto a los intereses foráneos en materia energética.

⁵ En 1996 EE.UU. adquiría el 18% de sus importaciones petroleras en el Medio Oriente (9% en 1985); en tanto Japón y Europa Occidental importaban de esa zona el 37% y 74%, respectivamente, de sus compras externas de petróleo (ver BP, 1997: 18).

Según pronósticos de la AIE, para el año 2010 los combustibles fósiles seguirían dominando, con amplio margen, el balance mundial de energía primaria (38% en el caso del petróleo), se incrementaría la dependencia del Medio Oriente y se registraría el mayor crecimiento de la demanda energética en el sector asiático de la Cuenca del Pacífico.

La configuración previsible del mercado petrolero mundial en lo que resta de década y los primeros decenios del siglo venidero parece ajustarse más a la lógica globalizadora y transnacional, de reacomodar los distintos segmentos de la economía mundial, en función de los intereses de los principales centros de poder económico y político, que a una reestructuración ordenada y favorable a todos los agentes que operan en este importante mercado. En este proceso las reservas de petróleo del Medio Oriente y de otros importantes productores como Rusia, México y Venezuela serían un objetivo de principal atención, tanto para las compañías petroleras como para los gobiernos de los países desarrollados.

En resumen, los altos precios del petróleo vigentes entre 1973 y 1985 (mercado de vendedores) favorecieron cierto avance en el sentido que indican los patrones del nuevo paradigma energético (ahorro energético y fomento de fuentes renovables de energía); sobre todo en los países altamente desarrollados; pero la evolución de este mercado a partir de 1986 ha tendido a desestimular el ulterior progreso en esas direcciones, debido a la persistencia de cotizaciones de los hidrocarburos relativamente bajas.

3.2.2. Factores que determinan el potencial económico y el potencial de mercado de la energía sostenible

Además de los factores económicos asociados a las condiciones vigentes en el mercado petrolero mundial, existen otras variables económicas, tecnológicas, institucionales, e incluso factores naturales, que determinan las potencialidades y limitaciones, tanto del ahorro energético como de las fuentes renovables de energía.

La discusión en torno a las potencialidades y limitaciones para una reestructuración energética sostenible conduce a identificar cuatro categorías

relativas al potencial para incrementar la eficiencia energética y la participación de las fuentes de energía renovable. En efecto, puede establecerse una distinción conceptual entre potencial teórico, potencial técnico, potencial económico y potencial de mercado.

El **potencial teórico (PTr)** de la energía sostenible está determinado por las leyes de la termodinámica, y el **potencial técnico (PTc)**, por las tecnologías disponibles en un momento dado (soluciones tecnológicas); en tanto que el **potencial económico (PE)** se asocia a la posibilidad de obtener un efecto económico neto positivo (inversiones que se justifican económicamente), y el **potencial de mercado (PM)** se refiere al avance obtenido en la práctica, en materia de energía sostenible, según los criterios de inversión que prevalecen bajo condiciones de mercado específicas. De esta presentación conceptual se deduce que: $PTr > PTc > PE > PM$.

Este estudio de las potencialidades y limitaciones para una reestructuración energética sostenible examinará, en primer lugar, la diferencia **PE - PM**, que se refiere a aquella parte del potencial económico existente para programas de energía sostenible que no se aprovecha en la práctica.

En la actualidad, existen amplias evidencias de que una parte considerable del potencial económico probado en materia de energía sostenible no se ha materializado en los mercados reales, lo que revela la existencia de barreras de diversa índole (de mercado, institucionales, organizacionales, de información, etc.) que limitan un mayor avance en esa dirección.

En cuanto al entorno inversionista, el desincentivo para invertir en energía sostenible se hace sentir preferentemente bajo condiciones de mercado estancado o poco competitivo, donde prevalece un escaso estímulo a la innovación; en contextos en que el incremento de los costos energéticos puede ser recuperado por la vía del precio de los productos finales; o en condiciones en que los precios energéticos no reflejan los costos reales de la energía.

Con frecuencia, los mecanismos existentes para la recuperación de las inversiones tienden a favorecer a aquellas tecnologías con menor costo inicial (ej.

combustibles fósiles), en detrimento de las tecnologías que, aún con costos iniciales relativamente elevados, tienen costos de operación inferiores (ej. muchas de las tecnologías energéticas sostenibles); lo que revela la necesidad de un enfoque de más largo plazo en el proceso de toma de decisiones de inversión, que considere el ciclo de vida de las distintas tecnologías energéticas.

Adicionalmente, muchos programas de energía sostenible, que resultan viables económicamente, no se adoptan como resultado de la falta de información o conocimiento por parte de los consumidores, falta de confianza en la información que se ofrece, o altos costos de transacción para obtener información confiable. Tal situación refleja la importancia de la información confiable y oportuna para obtener la aceptación del mercado.

La falta de personal calificado también constituye una importante barrera para la adopción de programas de energía sostenible, sobre todo en países subdesarrollados, así como en el sector residencial y empresas pequeñas de países desarrollados, donde las dificultades para instalar un equipo energético más eficiente pueden, en ocasiones, resultar prohibitivas, en comparación con el simple acto de comprar energía convencional. La aversión al riesgo, especialmente en las empresas más pequeñas, y el carácter “intangible” del ahorro de energía también constituyen limitantes para ese tipo de programas.

Con relación a las **fuentes renovables**, cabe señalar en primer término sus **ventajas** o potencialidades económicas en el contexto actual, lo que justificaría una mayor participación de estas fuentes en el balance energético global. Así, por ejemplo, la **energía eólica** es una de las formas más sencillas de generar electricidad; sus instalaciones ocupan una parte mínima del terreno, sin afectar el uso original del suelo; su crecimiento es modular; y los costos de mantenimiento de la tecnología son bajos.

En los últimos años se ha abaratado significativamente la fabricación de aerogeneradores, hasta alcanzar niveles de precios competitivos. De esta forma, ha quedado validada la competitividad y la madurez de la tecnología eólica para la

generación eléctrica; con costos de entre 0.05 y 0.07 dólares/KWh, e incluso menores en sitios con recurso eólico excedente⁶.

Por tanto, la generación eólica compite en costos de producción con tecnologías de gran desarrollo como el ciclo combinado, y supera a otras. La introducción de eoloelectricidad en los sistemas eléctricos interconectados contribuye, además, a la diversificación de los mismos e incrementa el valor estratégico de las plantas térmicas e hidráulicas, al ampliar los alcances de la coordinación hidrotérmica⁷.

En el caso de la **geotermia**, si bien se requiere una alta inversión inicial, el costo de la energía generada resulta igual o menor al de la energía producida con unidades convencionales. La economía de la energía geotérmica, con un costo de operación que oscila entre 0.03 y 0.075 dólares/KWh en los EE.UU., es similar a la de una planta termoeléctrica convencional, inferior o superior según sea la calidad del yacimiento. Además, el mantenimiento de una planta geotérmica, al carecer de caldera, es más espaciado y menos complejo que el de una termoeléctrica convencional.

Aunque no constituye una alternativa global a la generación de electricidad por medio de combustibles fósiles, la geotermia puede resolver las necesidades de electricidad de países pequeños o de localidades específicas dentro de países grandes⁸. La parte que podría aportar la geotermia a la generación de electricidad a nivel mundial es reducida, pero muchos países como Filipinas, Indonesia, Bolivia,

⁶ Además de pequeños aerogeneradores aislados, no integrados a la red de distribución eléctrica, alrededor de veinte países tienen plantas eoloelectricas integradas con una capacidad instalada conjunta de más de 4000 MW. Entre los países que más se destacaron en 1995 por el uso de esta fuente se encuentran los EE.UU., con 1900 MW de capacidad instalada, Alemania (632 MW), Dinamarca (530 MW) y la India (300 MW). Adicionalmente, se conoce la existencia de programas prospectivos para instalar otros 8000 MW de eoloelectricidad en el curso de la próxima década. Para el año 2000, la eoloelectricidad podría costar unos 0.04 dólares/KWh. (ver Hiriart, 1995a y b).

⁷ Se denomina coordinación hidrotérmica a la acción de determinar la generación hidroeléctrica que se debe producir para minimizar el costo de producción de la energía termoeléctrica.

⁸ Entre los países que más aprovechan, en términos absolutos, sus recursos geotérmicos se encuentran los EE.UU., con una capacidad instalada de 2594 MW, Filipinas (1053 MW), México (753 MW), Italia (637 MW), Japón (298 MW), y Nueva Zelanda (285 MW) (Hiriart y Gutiérrez, 1995).

Islandia y los países centroamericanos, podrían obtener el total de su energía eléctrica de esta fuente.

Otras ventajas asociadas a las explotaciones geotérmicas son que ofrecen posibilidades para llevar a cabo proyectos híbridos como los de turbogas-geotermia y termosolar-geotermia; se utiliza un recurso natural que no tiene otra aplicación industrial de gran magnitud; y no se consume agua en el sistema de enfriamiento ya que el agua que se requiere para reponer las pérdidas de evaporación producidas en la torre proviene del propio condensado.

La **hidrogeneración** es una tecnología bien establecida, que opera con rangos de eficiencia de 80%-90%, lo que duplica la eficiencia de las plantas termoeléctricas convencionales. Es una de las fuentes de energía más limpias a nivel mundial, con un enorme potencial de aprovechamiento, y puede producir grandes cantidades de electricidad en horas pico o entrar como sustituto en horas base, para cubrir los requerimientos de grandes ciudades o plantas industriales.

De igual forma, la energía requerida por las comunidades aisladas o por distritos distantes de los centros de consumo puede obtenerse a pequeña escala mediante microcentrales. En general, las inversiones con fines de hidrogeneración contribuyen al desarrollo socioeconómico regional, y en particular benefician a la agricultura.

Por su parte, las **tecnologías fotovoltaicas (FV)** se caracterizan por alta confiabilidad, modularidad y sencillez de operación. Es la tecnología solar que ha logrado mayor comercialización⁹ -aunque en aplicaciones individuales de mucha menor capacidad que la termosolar-, y luego de más de una década de aplicaciones ha mostrado en su operación una alta disponibilidad con bajo mantenimiento, durante períodos prolongados.

Aunque la eficiencia de conversión de la energía solar a eléctrica por medios FV varía entre 4% y 12%, en los desarrollos más recientes se han registrado niveles de eficiencia de hasta 30%; y, en general, esta tecnología puede competir con la generación cara de los períodos pico, en regiones de alta insolación.

⁹ Las ventas mundiales de módulos FV es de unos 50 MWe por año.

A nivel internacional, los productores de módulos FV están expandiendo su producción, lo que contribuye a reducir costos, por las economías de escala. Además, el desarrollo tecnológico en esta área está orientado a lograr reducciones significativas de los costos, mediante la utilización de nuevos materiales y medios FV, lo que parece tener amplias perspectivas¹⁰.

Las **tecnologías termosolares** tuvieron un importante desarrollo en los años 80 con la instalación en California, EE.UU., de centrales de canal parabólica; y durante esa década los costos de generación de electricidad se redujeron en alrededor de un 80%, como resultado de los esfuerzos de investigación, tanto del gobierno como de la industria. Los cambios tecnológicos más recientes en esta área han permitido reducir notablemente los costos de producción, como lo reflejan las modificaciones tecnológicas de los concentradores, receptores y medios para la conversión de la energía, que han contribuido a disminuir considerablemente los costos del receptor central y de los sistemas cóncavos¹¹.

La estrategia del Departamento de Energía de los EE.UU. (DOE) para asegurar sistemas termosolares competitivos en cuanto a costos se basa en un doble enfoque: investigación de tecnologías clave e investigación de aplicaciones. La investigación de tecnologías clave considera, entre otros objetivos, el desarrollo de componentes vitales para los sistemas futuros, entre los que se encuentran los materiales ópticos, concentradores, receptores y motores térmicos de aplicaciones múltiples. Entre los países que han logrado mayor avance en este tipo de tecnologías se encuentran, además de los EE.UU., España y Alemania.

¹⁰ En el curso de la próxima década se espera reducir significativamente el nivel de costos, que en el presente oscila entre 0.23 y 0.33 dólares/ KWh (IPCC, 1996: 43).

¹¹ El costo del helióstato se ha reducido de 1000 dólares/m² a menos de 150 dólares/m², al tiempo que la reflectividad de las superficies de espejos se ha incrementado de 70% a más de 90%. Los diseños actuales de sistemas termosolares tienen una eficiencia anual de alrededor del 15% y un costo de capital de alrededor de 3500-4000 dólares/KWe (Solar Today, 1990). Mediante mejoras tecnológicas, se espera obtener costos del orden de los 0.06 dólares/KWh, con eficiencias del 17%, sol a electricidad, y lograr ulteriores reducciones en los costos de los equipos de captación y seguimiento solar (Hiriart, 1995a y b).

Una de las opciones que ofrece la tecnología termosolar es la posibilidad de respaldo de combustibles convencionales para satisfacer la demanda en horas de baja insolación. A pesar de que las condiciones que propiciaron la construcción de las primeras plantas termosolares (incentivos fiscales, altos precios del petróleo, etc.) han desaparecido, en proyectos recientes se ha estudiado la combinación de la tecnología de canal parabólica con los ciclos combinados, integración que permitiría a la termosolar participar en la cobertura tanto de la demanda base como de la pico.

También se señalan, como ventajas de la tecnología termosolar, la posibilidad de almacenar los fluidos de trabajo en forma comparativamente barata; y el hecho de que la producción de electricidad termosolar aumenta directamente con la intensidad de la radiación, siguiendo un patrón paralelo a la demanda de electricidad de lugares cálidos.

El aprovechamiento de la **biomasa** con fines energéticos también ofrece amplias perspectivas en el contexto de una reestructuración energética global, sobre todo en el área subdesarrollada. Debe recordarse que los países subdesarrollados utilizan el 30% de la energía mundial, pero esta proporción crecerá en los próximos 10 años como efecto combinado del incremento poblacional y el crecimiento económico.

Los combustibles tradicionales de la biomasa (leña, residuos de cosechas y estiércol) siguen siendo la principal fuente energética de más de 2 mil millones de personas en estos países; sin embargo, en la mayoría de los casos la utilización de estos recursos no se lleva a cabo sobre bases sostenibles.

Dentro de los recursos de la biomasa, la madera encierra un enorme potencial como fuente renovable, si se aprovecha de manera sostenible, es decir, si se consume a una tasa inferior a la tasa de regeneración natural del recurso. No debe olvidarse que la madera constituye un almacén natural de energía solar.

En el presente se realizan investigaciones y proyectos piloto para fomentar plantaciones energéticas en tierras de baja productividad agrícola o con problemas de degradación, lo que contribuiría a la rehabilitación de esos suelos, se mejoraría el medio ambiente y se produciría un recurso energéticamente valioso.

La generación de electricidad a partir de residuos forestales, agroindustriales y urbanos podría resultar atractiva en la modalidad que combina la generación eléctrica con la solución al problema de disposición de dichos residuos. En estos casos, la electricidad se produce, por lo general, en el sitio donde se consume, muy cerca de los centros urbanos, lo que disminuye las pérdidas por la transmisión a distancias grandes.

El biogas, obtenido a partir de la combustión de desechos orgánicos, puede quemarse en máquinas de combustión interna para generar electricidad, en calderas para producir agua caliente o vapor, o en cualquier otra aplicación que demande calor; además se obtiene un residuo biológicamente estable, libre de organismos patógenos y con propiedades de fertilizante. También existen expectativas muy alentadoras en relación con la producción de biocombustibles ya que los costos se han reducido considerablemente en los últimos 20 años¹².

En sentido general, la evaluación de la diferencia entre el potencial económico y el potencial de mercado actual de los programas de energía sostenible (**PE - PM**) lleva a reflexionar acerca de la necesidad de reducir esa brecha, dada por las inversiones en energía sostenible que se justifican económicamente pero que no se materializan por barreras de mercado, institucionales y otras. Esto constituiría un **aporte necesario, aunque no suficiente**, para avanzar en la dirección de una reestructuración energética sostenible.

En efecto, siendo consecuentes con la perspectiva de largo plazo que se sigue en esta investigación se requería, además de reducir la diferencia **PE - PM**; disminuir, en el mayor grado posible, las diferencias **PT_r - PT_c** (potencialidades teóricas para las cuales aún no existen soluciones tecnológicas) y **PT_c - PE** (soluciones tecnológicas que aún no son viables económicamente); lo que demandaría, entre otras cosas, la inversión de importantes recursos en investigación, desarrollo y demostración de estas tecnologías. No debe olvidarse,

¹² El costo actual para el etanol es de 1 dólar/galón (3.42 dólares/galón en 1980), con perspectivas de que caiga a 0.67 dólares/galón en el 2000; mientras que para el metanol el costo es de 0.84 dólares/galón (0.55 dólares/galón en el 2000); y para el biodiesel (a partir de soja) es de 2.50 dólares/galón (DOE, 1997b).

por ejemplo, que en muchos campos de aplicación de la energía renovable aún persisten significativas limitaciones para aplicaciones económicamente viables, e incluso en muchas ocasiones todavía no se dispone de soluciones tecnológicas adecuadas.

Entre las **limitaciones** de la energía renovable cabe destacar que la misma resulta mucho más dispersa que la energía química en los combustibles fósiles, y especialmente que la energía nuclear. Esto implica que se requerirían muchas más unidades generadoras con fuentes renovables que las requeridas si se utilizan fuentes convencionales.

A manera de ejemplo, cabe apuntar que debido al menor contenido calorífico de la madera¹³ con relación a los combustibles fósiles, y a la dispersión de los aprovechamientos forestales, la concentración de altos volúmenes de residuos para ser utilizados con fines energéticos resulta costosa, lo que afecta sensiblemente la competitividad de este recurso.

Muchas de estas fuentes, en particular la eólica, la de las mareas y la solar, son intermitentes por naturaleza o varían considerablemente según las condiciones del tiempo y las estaciones. La intermitencia del viento, por ejemplo, se traduce en bajos factores de capacidad de las plantas generadoras¹⁴ y, por tanto, ocasiona que la energía eléctrica obtenida con esta tecnología no pueda constituir la única fuente que alimente un sistema eléctrico. En sistemas pequeños, la eoloelectricidad se complementa normalmente con aerogeneradores diesel y módulos fotovoltaicos.

Asimismo, la intermitencia ha sido uno de los principales obstáculos para la aplicación masiva de la energía solar en la generación de electricidad; y en los proyectos hidroeléctricos resulta preocupante la completa dependencia de un factor que cada vez se torna más aleatorio: la lluvia.

¹³ El contenido calórico de la madera equivale a dos terceras partes del correspondiente al carbón y a la mitad del correspondiente al combustóleo (Nolla y Mondragón, 1995).

¹⁴ En California, donde se ubica el 40% de la capacidad de generación eoloelectrónica mundial y más del 90% de la norteamericana, en 1994 este tipo de instalaciones operaba a sólo un 23% de su capacidad, muy por debajo de la cifra promedio correspondiente a la energía nuclear (75%), a las plantas de carbón (75%-85%) y a las instalaciones de ciclo combinado a base de gas natural (95%) (Bradley, 1997).

En muchos casos, estas fuentes están limitadas por factores geográficos: zonas con grandes corrientes de viento, regiones con condiciones geológicas que propicien el aprovechamiento geotérmico, áreas montañosas con ríos aprovechables, etc. Regularmente, estas zonas están alejadas de los grandes centros de consumo, lo que requiere de extensas líneas de transmisión.

En el caso de la energía eólica, para generar a grandes escalas (más de 1,000 MW) se requieren zonas de alta intensidad y continuidad del viento, y además, cercanía de una fuente de regulación o almacenamiento, como una central hidroeléctrica. En los proyectos geotérmicos, las plantas deben instalarse sobre el yacimiento, es decir en zonas con alta probabilidad de que ocurran terremotos y erupciones volcánicas, y que, además, suelen estar alejadas de los centros de consumo.

Adicionalmente, las fuentes renovables suelen ser intensivas en capital, lo que las encarece y afecta su competitividad, sobre todo en mercados energéticos privatizados. En el caso de los proyectos geotérmicos, por ejemplo, la inversión inicial suele ser mayor que en una termoeléctrica convencional, por la necesidad de perforar los pozos necesarios para extraer el vapor a la superficie, por la gran cantidad de tuberías superficiales para recolectar el vapor, y por el empleo de acero inoxidable en muchas partes del circuito de enfriamiento.

Las distintas modalidades de aprovechamiento de la energía del mar (mareomotriz, energía de las olas, y el gradiente térmico de los océanos) resultan, en general, muy costosas y requieren mucho mantenimiento. Por tanto, no constituyen en la actualidad una fuente alternativa para generar electricidad comercialmente y se espera que sólo una pequeña fracción del potencial existente sea aprovechada en los próximos 100 años.

En el campo de la energía solar, por un lado, los elevados costos de fabricación de los sistemas FV sólo hacen competitiva esta tecnología en lugares donde la conexión a la red implica mayores inversiones. En las condiciones actuales, para fabricar una celda FV que produzca una cierta cantidad de energía útil, se requiere invertir durante su fabricación más energía que la que generará en toda su

vida. Por otro lado, los costos de producción de electricidad termosolar -ubicados entre 0.09 y 0.11 dólares/KWh- no alcanzan aún el nivel que permita su comercialización internacional en gran escala.

Para ser competitivas, las aplicaciones de la biomasa deben asociarse necesariamente a los beneficios ambientales que ofrecen¹⁵. Sólo en casos especiales, como la utilización del bagazo, estos proyectos se justifican en términos de generación de electricidad únicamente.

En el área de la hidroenergía, los problemas técnicos se refuerzan a partir de la existencia de obstáculos institucionales significativos. En momentos en que los proyectos de gran envergadura se ven frenados por su elevado costo económico y sus implicaciones ambientales, sociales y culturales; la mayor difusión de las tecnologías para aprovechar estos recursos a pequeña escala resulta obstaculizada por la falta de un inventario adecuado de los lugares con potencialidades; el hecho de que cada proyecto requiera consideraciones especiales de diseño y construcción; a escasez, en muchos países, de expertos técnicos que permitan desarrollar el diseño y realizar la construcción de microcentrales; y la fuerte tendencia a continuar la construcción y equipamiento de grandes centrales, sin prestar la debida atención a las pequeñas.

En general, una de las principales barreras institucionales para el fomento de las fuentes renovables son los sistemas inadecuados de asignación de recursos para la I-D, que no tienen en cuenta una perspectiva de largo plazo. En este contexto, no resulta casual que persistan importantes problemas técnicos que solucionar en el campo de la energía renovable.

Luego de examinar algunas de las limitaciones tecnológicas y económicas de la energía sostenible cabría preguntar ***¿por qué insistir en la necesidad de reducir, no sólo la diferencia PE - PM, sino también PTr - Ptc y Ptc - PE, con una perspectiva de largo plazo?***

¹⁵ Los costos de inversión para una planta de incineración de residuos sólidos urbanos con recuperador de energía, para la generación de electricidad, son del orden de los 5000 dólares/KW instalado. Los costos de producción serían de unos 0.10 dólares/KWh, si el proyecto sólo considera la venta de energía eléctrica (Hirlart, 1995a).

Para responder esta interrogante, cabe recordar que en medio de la internacionalización del debate sobre medio ambiente y desarrollo, han crecido considerablemente las preocupaciones en torno a las implicaciones ambientales adversas del sector energético, lo que ha revelado la necesidad de promover la eficiencia energética y aumentar la participación de las fuentes renovables de energía, aún en condiciones de bajos precios de los hidrocarburos.

Tal perspectiva puede calificarse como sostenible, no sólo porque incorpora las consideraciones ambientales, sino además porque busca reducir la vulnerabilidad de las economías nacionales ante futuras fluctuaciones en los precios internacionales de la energía. Esta reflexión sugiere incorporar al análisis algunos factores y consideraciones ambientales.

3.2.3 Factores y consideraciones ambientales

Para analizar el futuro de cada tecnología energética, además de examinar la disponibilidad del recurso primario y el costo económico de la transformación; se requiere analizar, entre otros factores, el impacto ecológico del proceso. Bajo este prisma de análisis, se impone una modificación en el sistema de categorías utilizado en el epígrafe anterior para analizar las potencialidades y limitaciones de una reestructuración energética sostenible.

La modificación que se sugiere es concretamente la ampliación del concepto de potencial económico, con la introducción el concepto de "potencial sostenible" o "potencial de sustentabilidad", que incorpora no sólo las variables económicas sino también variables y consideraciones ecológicas. Por tanto, el **potencial sostenible (PS)** resultaría de una "internalización de las externalidades"¹⁶ ambientales a las diversas tecnologías energéticas.

Sin dudas, se trataría de un proceso sumamente complejo, sobre todo si se tienen en cuenta las serias dificultades existentes en la actualidad para valorar adecuadamente las externalidades ambientales; no obstante, en un plano teórico general, puede decirse que para las tecnologías energéticas sostenibles, dado su

¹⁶ Con relación al proceso de "internalización de externalidades", ver epígrafe 2.1.1.

impacto ambiental favorable en relación con las tecnologías energéticas convencionales (ej. combustibles fósiles), se cumple: $PT_r > PT_c > PS > PE > PM$.

Como puede observarse, los criterios a que se refiere el potencial económico (viabilidad económica, partiendo de una relación convencional de costo-eficiencia económica) son ampliados con la incorporación de los costos y/o beneficios ambientales asociados a cada tecnología que se compara¹⁷.

Aplicando este nuevo esquema teórico a las tecnologías energéticas sostenibles, el objetivo sería reducir las diferencias:

- **PS - PM:** inversiones que se justifican en términos de sustentabilidad, pero que no se han materializado en el mercado;
- **PT_c - PS:** soluciones tecnológicas que aún no resultan viables al analizar de forma conjunta sus costos y beneficios económicos y ambientales;
- **PT_r - PT_c:** potencialidades teóricas para las cuales aún no existen soluciones tecnológicas.

Como se expresó antes, con el deterioro de los precios del petróleo, desde mediados de los años 80, se ha desestimulado el proceso de innovaciones tecnológicas dirigidas a incrementar la eficiencia energética y a fomentar las fuentes renovables. Sin embargo, las crecientes preocupaciones en torno al impacto adverso del sector energético sobre el medio ambiente, en particular los esfuerzos por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, están pasando a ser un objetivo de política energética, sobre todo en los países industrializados; lo que revela la necesidad que promover el establecimiento de un marco regulatorio en el sector energético, que contribuya a una transición energética ordenada y sobre bases sostenibles.

Si se consideran únicamente variables de costo económico (potencial económico), las fuentes convencionales de energía -particularmente los combustibles fósiles- continúan ofreciendo amplias ventajas para su consumo

¹⁷ Según algunos analistas, en el caso de las tecnologías energéticas basadas en el uso de carbón, el valor de las externalidades negativas varía entre 1 y 10 centavos de dólar por KWh y para la energía nuclear asciende aproximadamente a 6 centavos; mientras que en los casos de la electricidad de origen eólico o solar tal magnitud es muy cercana a cero (Gronbeck, 1997).

masivo, sobre todo en condiciones de precios deprimidos para los hidrocarburos. Sin embargo, en la medida en que se internalicen los costos ambientales de estas fuentes energéticas, esa posición ventajosa se erosionaría significativamente frente a las fuentes renovables.

Como ya se ha expuesto en esta investigación, de mantenerse las tendencias actuales, en un futuro próximo resultarán mucho más evidentes los problemas derivados del carácter agotable de los recursos energéticos convencionales y del reforzamiento del efecto invernadero como consecuencia de las emisiones de CO_2 y otros gases contaminantes, derivados de la utilización de los combustibles fósiles.

En este contexto, entre las potencialidades de las fuentes renovables, cabe resaltar, además de su carácter inagotable, el impacto ecológico favorable en tanto reducen considerablemente las emisiones de desechos y contaminantes.

Así, por ejemplo, el aprovechamiento de la energía eólica no genera contaminación; y las unidades geotérmicas tienen un impacto significativamente menor sobre el medio ambiente, con relación a las plantas convencionales generadoras de electricidad, en tanto producen menos emisiones.

Se calcula que la cantidad de CO_2 que emite una planta geotérmica representa la cuarta parte de lo que emite una termoeléctrica de igual potencia. Además, como resultado del aprovechamiento de la geotermia no se producen óxidos de azufre ni de nitrógeno ya que no se quema ningún combustible.

En cuanto a la biomasa, la combustión completa de la madera es limpia y prácticamente libre de contaminantes. El contenido de azufre es menor que el de los combustibles fósiles y el CO_2 descargado a la atmósfera durante la combustión es contrarrestado por el absorbido durante la fotosíntesis. Además, las cenizas de la madera pueden ser utilizadas para enriquecer suelos degradados; y el contenido de metales pesados en este recurso es despreciable.

Cabe recordar, no obstante, que las fuentes renovables no están exentas de riesgos ambientales, por tanto cuando se asocia el término energía sostenible al de energía renovable, debe tenerse en cuenta el carácter relativo de este criterio, en

referencia al menor impacto ecológico de las fuentes renovables, con relación a otros portadores energéticos como los combustibles fósiles.

Entre las implicaciones ecológicas negativas de las fuentes renovables se destacan las experiencias de la hidroelectricidad a gran escala, cuyo aprovechamiento provoca inundaciones de tierras fértiles y desplazamiento de pobladores, a lo que se suma la posibilidad de accidentes. En los sistemas fotovoltaicos, la condición de “energía limpia” resulta afectada por los contaminantes producidos durante la fabricación de las celdas FV.

En el caso de la energía eólica cabe mencionar el rechazo público al ruido de las turbinas, al impacto visual sobre el paisaje y a la alteración de la vida silvestre, particularmente de las aves.

Por su parte, el aprovechamiento de la geotermia requiere un manejo adecuado de los gases, del agua separada y del ruido para evitar la contaminación. El H_2S debe dispersarse adecuadamente en la atmósfera para evitar el olor; además, es necesario reinyectar al yacimiento todo el fluido para eliminar totalmente el efecto contaminante de las sales que contiene; y para abatir el ruido hasta límites aceptables debe utilizarse silenciadores adecuados.

La energía nuclear, no constituye una fuente renovable y por tanto no es un objetivo básico de esta investigación. Sin embargo, cabe destacar que el costo económico de estas tecnologías se ha elevado notablemente en las últimas décadas y su utilización está asociada a serios riesgos ecológicos, relacionados con el grado de seguridad de los reactores, el transporte y disposición de los residuos radioactivos, el desmantelamiento de plantas después de su vida útil y la posibilidad de proliferación nuclear. La búsqueda de soluciones tecnológicas a estas desventajas económicas y ecológicas constituye uno de los propósitos básicos de los actuales programas de I-D en esta esfera.

No obstante las limitaciones antes expuestas, la generación de nuclear aporta 45% del consumo de energía comercial global y alrededor del 15% de la electricidad producida en el mundo; y continúa siendo una opción energética en varios países con plantas en operación o en fase constructiva. Además, en el debate acerca de las

medidas para mitigar el efecto invernadero, la opción nuclear suele ser revalorizada, dada la no existencia de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a esta fuente.

En lo referente a los instrumentos económicos para materializar el potencial económico de los programas de ahorro energético y de fomento de las fuentes de energía renovable, cabe retomar el análisis presentado en el **epígrafe 2.1.1**, en relación con los mecanismos para “internalizar las externalidades”, donde se hace alusión tanto a los instrumentos administrativos (ej. normas técnicas) como a los de mercado (ej. subsidio a programas de energía sostenible, impuestos a los combustibles fósiles, etc.) y otros.

Al conjunto de mecanismos antes mencionado debe añadirse la posibilidad de acuerdos voluntarios entre las agencias reguladoras gubernamentales, de una parte, y compañías privadas u otras instituciones, de otra parte. Mediante estos acuerdos, las compañías privadas involucradas se comprometen a adoptar medidas dirigidas a lograr ciertos niveles de eficiencia energética, reducción de emisiones, etc., a cambio de apoyo financiero o excepción de ulteriores regulaciones por parte del gobierno. Estos acuerdos voluntarios pueden ser el antecedente directo para la adopción de nuevas regulaciones gubernamentales en la esfera energética.

En estas condiciones, la transparencia de los precios de la energía resulta clave para una reestructuración energética sostenible ya que, de un lado, la existencia de subsidios injustificados al consumo energético constituye un desincentivo para el ahorro; y, de otro lado, los subsidios a los combustibles fósiles desestimulan las inversiones en energía renovable.

Uno de los componentes básicos de los programas dirigidos a promover la energía sostenible a nivel internacional es la “planificación integrada de los recursos” o “administración de la demanda” en el subsector eléctrico, con el propósito de que las empresas generadoras de la electricidad se preocupen no sólo por las actividades de generación, sino también por la forma en que se utiliza la electricidad, con el objetivo de encontrar la vía menos costosa para proveer un servicio energético.

En los países donde se han aplicado programas de esta naturaleza se ha comprobado, por ejemplo, que una amplia variedad de medidas de ahorro energético suele resultar menos costosa que nuevas adiciones a la oferta energética.

En sentido general, el análisis de las potencialidades y limitaciones para una reestructuración energética sostenible, revela como aspectos centrales el carácter necesario, pero limitado de este proceso, y el requerimiento de un avance gradual y una perspectiva de largo plazo a la hora de pensar en fórmulas, mecanismos o programas para avanzar en las direcciones básicas que considera dicha reestructuración. En lo referido a las fuentes renovables, como se mencionó antes, se trata ante todo de fomentar su participación en el balance energético, en la medida en que resulte económica y ecológicamente viable.

Las consideraciones anteriores acerca de las potencialidades y limitaciones internacionales para una reestructuración energética sostenible, podrían complementarse con una referencia más detallada a las opciones y obstáculos para este proceso de reestructuración, tanto en países desarrollados como subdesarrollados. Además, teniendo en cuenta la gradualidad de este proceso, una medición periódica del grado de avance en las direcciones fundamentales de dicha reestructuración energética, podría resultar de interés como elemento de referencia, tanto en el debate académico, como en el proceso de toma de decisiones, y de negociaciones internacionales sobre estos temas.

Capítulo IV

Alcance y limitaciones de la reestructuración energética sostenible en los países desarrollados

Una de las tendencias más significativas en el escenario energético mundial de las últimas dos décadas ha sido el mayor grado de ajuste de las economías desarrolladas a los patrones del nuevo paradigma energético, en comparación con otros grupos de países, sobre todo en lo relacionado con la puesta en práctica de programas de conservación energética, basados en la introducción de equipos y tecnologías más eficientes. No obstante, el avance ulterior en este proceso enfrenta serias limitaciones en la actualidad.

El mayor auge de los programas dirigidos a fomentar fuentes renovables de energía e incrementar la eficiencia energética en este grupo de países se registró durante el período de elevadas cotizaciones del petróleo (1973-85). En octubre de 1977, en medio de la turbulencia económica y financiera provocada por los altos precios de los hidrocarburos, los Ministros de la AIE adoptaron los *Principios de Política Energética* de esa Organización, como marco de referencia para la puesta en práctica de políticas nacionales en los entonces 21 estados miembros. Entre esa fecha y finales de los años 80, los recursos dedicados por los países de la AIE al desarrollo de distintos tipos de tecnologías energéticas ascendieron a 70 mil millones de dólares (Heard, 1990: 30).

Las líneas de acción adoptadas por los Ministros de la AIE en los años 70, incluían importantes recomendaciones en lo concerniente al manejo o administración de la demanda energética, tales como la rápida aplicación de políticas orientadas al uso eficiente de la energía, la sustitución de petróleo por fuentes alternativas y la aplicación de procedimientos regulares para evaluar de forma efectiva el cumplimiento de esos programas.

La colaboración de los gobiernos de los países desarrollados con la industria en el manejo de la demanda de energía, especialmente de petróleo, incluía el fomento de incentivos a empresas eléctricas e industriales, suministro de información, asesoría y

actividades de educación; así como apoyo financiero y fiscal, en los casos en que se consideraba necesario.

En el sector residencial, se hizo especial énfasis en la adopción de un código para los nuevos edificios, con normas mínimas obligatorias de eficiencia térmica e iluminación; y se establecieron incentivos financieros y fiscales para la readecuación del *stock* de viviendas y edificios existentes.

Asimismo, se ampliaron las medidas dirigidas a reducir el uso del petróleo en la transportación, incluyendo incrementos en los precios de la gasolina; el reforzamiento de las normas de eficiencia de los combustibles; impuestos progresivos sobre los automóviles, en función de los niveles de eficiencia en el uso de combustibles; límites efectivos de velocidad; y apoyo a los sistemas de transporte público.

También se dedicó especial atención a la expansión de los programas de cogeneración (producción conjunta de electricidad y calor), y a la recuperación del calor no aprovechado, para lo cual se proponía eliminar las restricciones institucionales existentes y ofrecer incentivos apropiados.

Uno de los resultados más significativos de la puesta en práctica de los programas antes mencionados, fue el proceso de sustitución energética experimentado en los países de la OCDE hasta mediados de los años 80, en virtud del cual la parte del petróleo en el balance energético global de estos países disminuyó considerablemente.

4.1. Sustitución energética y fomento de fuentes renovables

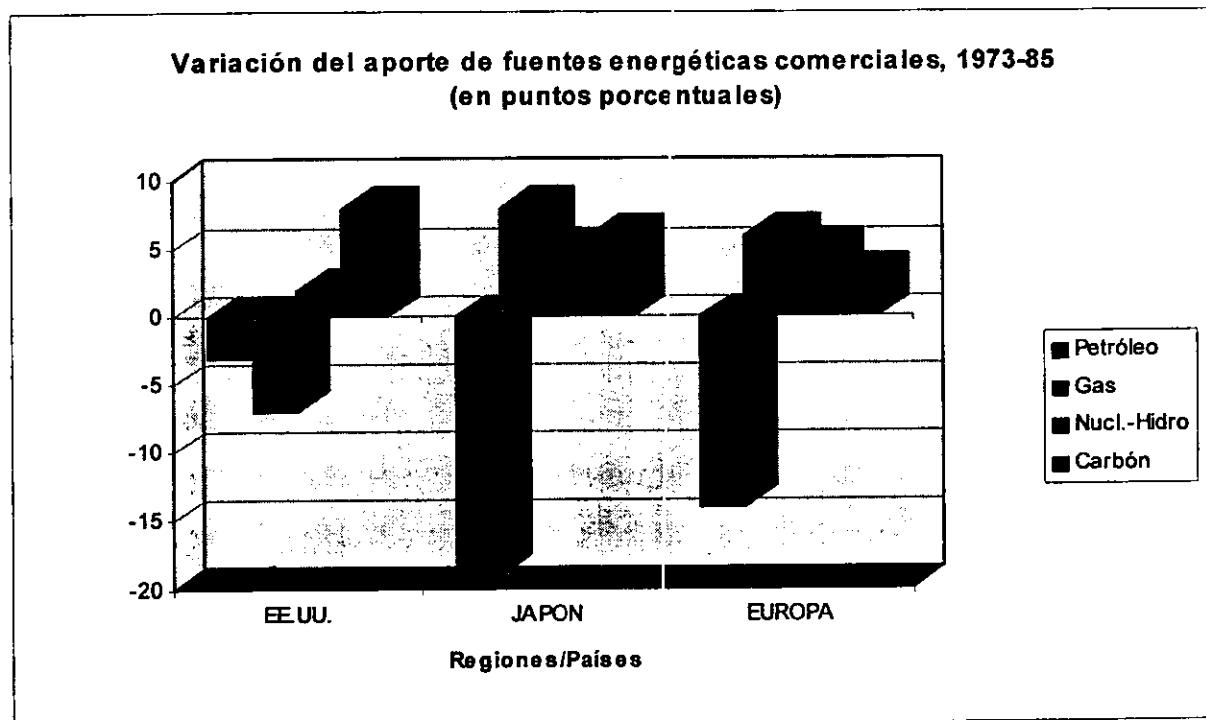
Durante el período de altos precios internacionales de los hidrocarburos, la participación petrolera en el balance de energía de la OCDE se redujo desde 55.3% en 1973 hasta 46.2% en 1985 (ver Anexo IV.1), y en este proceso sustitutivo jugaron un papel decisivo las políticas gubernamentales que fomentaban el desplazamiento del petróleo por electricidad de origen no petrolero, preferentemente.

4.1.1. Patrones regionales de la sustitución energética

La sustitución del petróleo fue más intensa en Japón y Europa Occidental que en los EE.UU. En **Japón**, la parte del petróleo en el balance energético cayó en casi 19 puntos porcentuales entre 1973 y 1985 (de 78.2% hasta 59.6%), que fueron transferidos al gas (8 puntos), al carbón (6 puntos) y a la electricidad de origen hidráulico y nuclear (5 puntos). Obsérvese que 13 de los 19 puntos perdidos por el petróleo fueron absorbidos por las fuentes de energía comercial que menos contribuyen al efecto invernadero (gas natural, considerado como el combustible fósil menos contaminante, hidroelectricidad y energía nuclear) (ver gráfico G4.1).

En **Europa Occidental**, este proceso siguió aproximadamente el mismo patrón que en Japón, pero en menor escala. La participación del petróleo en el balance energético europeo disminuyó en casi 14 puntos porcentuales entre 1973 y 1985 (de 60% a 46.4%), de los cuales 6 puntos fueron ganados por el gas natural y 5 puntos por la electricidad de origen hidráulico y nuclear.

Gráfico G4.1



Fuente: Elaborado a partir de OPEC, 1995.

En **EE.UU.**, sin embargo, la comparación de los balances energéticos de 1973 y 1985 muestra que la participación del gas sufrió la mayor caída (de 31.1% a 24.2%; es decir en 7 puntos), mientras que la parte del petróleo cayó ligeramente de 47.8% a 44.5%; y 8 de los 10 puntos perdidos de forma conjunta por gas y petróleo fueron ganados por el carbón, considerado como el combustible fósil más contaminante.

Durante el **período 1985-94**, la participación del petróleo se mantuvo relativamente constante en un 46-47% del balance energético de la OCDE, lo que demuestra que si bien muchos de los cambios estructurales ocurridos en la composición de la demanda energética de estos países en el período de altos precios del petróleo tienen un carácter estructural, los bajos precios vigentes a partir de 1986 desestimularon un mayor avance en la sustitución de petróleo.

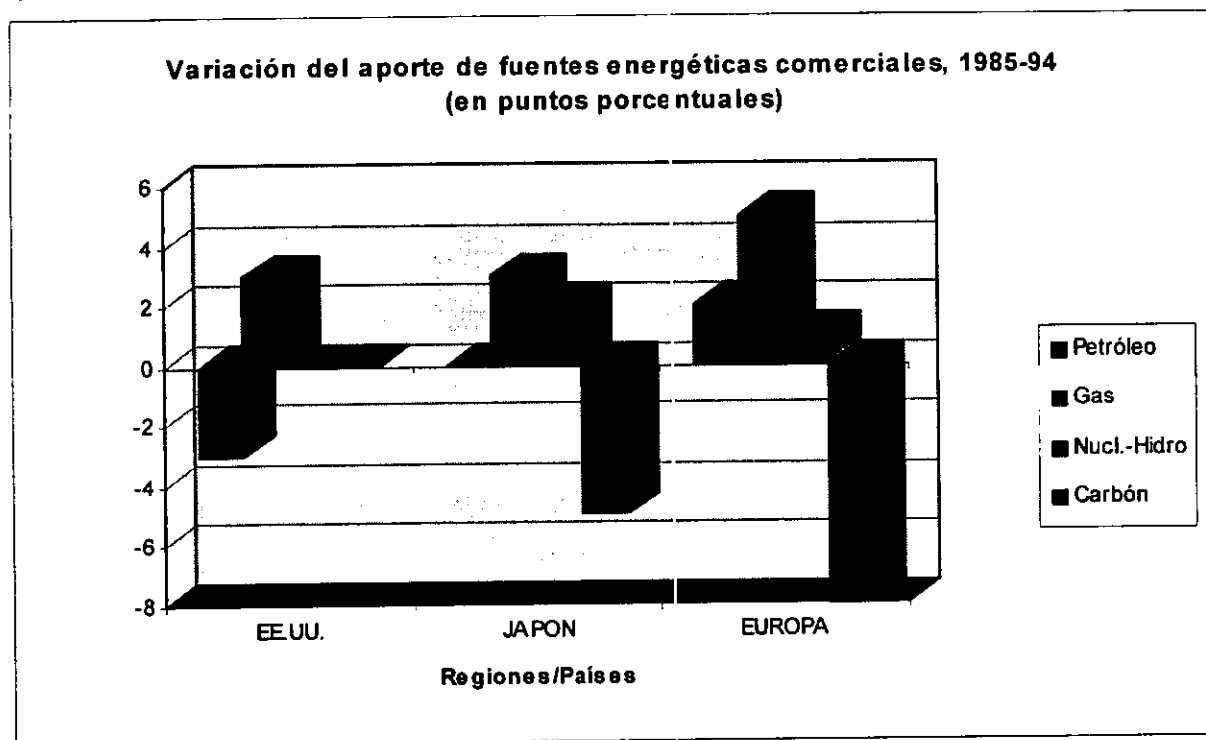
El principal cambio operado en el balance energético de la OCDE en 1985-94 fue la reducción de la participación del carbón en tres puntos porcentuales y el incremento de la parte del gas natural en igual proporción. Esta nueva tendencia está en correspondencia con los esfuerzos de diversos países por reducir la dependencia de los combustibles fósiles más contaminantes (carbón y petróleo), y aumentar la participación del gas natural (combustible fósil menos contaminante) y las fuentes renovables.

Al desagregar los datos globales de la OCDE, entre los tres principales centros de poder económico, se observa que en **EE.UU.**, la parte del carbón en el balance energético fue la que permaneció prácticamente invariable entre 1985 y 1994 (28%), al igual que la electricidad de origen nuclear e hidráulico (4%); mientras el petróleo perdió 3 puntos (de 45% a 42%), que fueron ganados por el gas (de 24% a 27%) (**ver gráfico G4.2**).

En **Japón**, el petróleo mantuvo su proporción (60%) y el carbón perdió 5 puntos (de 24% a 19%), 3 de los cuales pasaron a la cuenta del gas natural (de 10% a 13%) y dos a la cuenta de la electricidad nuclear e hidráulica (de 6% a 8%). En **Europa Occidental**, sin embargo, el carbón perdió 8 puntos (de 29% a 21%), de los cuales 5

pasaron al gas natural (de 17% a 22%), dos al petróleo (de 46% a 48%) y uno a la electricidad de origen nuclear e hidráulico (de 8% a 9%).

Gráfico G4.2



Nota: Elaborado a partir de OPEC, 1995.

Obsérvese que la tendencia anticarborífera en Europa y Japón, que tiene un fuerte componente ambiental, es un fenómeno de los últimos 10 años, ya que en 1973-85 la sustitución de petróleo por carbón fue uno de los componentes básicos de las políticas de estos países para enfrentar el encarecimiento de los hidrocarburos, siguiendo una lógica eminentemente económica.

La **energía nuclear y las fuentes energéticas renovables** fueron dos de las opciones promovidas por los países de la OCDE en los programas de sustitución energética, emprendidos particularmente entre 1973 y 1985.

4.1.2. El componente nuclear de la sustitución energética

Durante los años 70, las empresas eléctricas de Canadá, Francia, Reino Unido, Japón y EE.UU. dedicaron miles de millones de dólares al desarrollo de la **tecnología electronuclear**, que desde comienzos de los 50 estaba siendo promovida por influyentes círculos gubernamentales y de negocios, principalmente norteamericanos y británicos.

Esta tendencia fue seguida por otros estados industrializados y algunos países subdesarrollados. En 1989, los 21 países miembros de la AIE dedicaban casi 60% de su presupuesto de 7.3 mil millones de dólares con fines de investigación energética, a la energía nuclear (47% a la fisión nuclear y 12% a la fusión nuclear) **(Flavin y Lenssen, 1990: 35)** y esa proporción se ha mantenido prácticamente invariable desde entonces.

De esta forma, la energía nuclear ha sido uno de los segmentos más dinámicos en los programas de energía alternativa llevados a cabo por los países de la OCDE desde comienzos de los 70 **(ver BP, 1997)**. La utilización de este tipo de energía se incrementó de 27 millones de toneladas de petróleo equivalente (MTPE) en 1971 a 515 MTPE en 1996; llegando a representar, en este último año, 43.6% de toda la energía comercial consumida en Suecia, 42.2% en Francia, 15.3% en Japón, 12.1% en Alemania, y 8.6% en EE.UU. A inicios de los 90, la energía nuclear como parte de la oferta de electricidad alcanzaba el 70% en Francia, 66% en Bélgica y 47% en Suecia; y para el conjunto de la OCDE esta fuente aportaba el 24% de generación eléctrica en 1995.

La OCDE concentra en la actualidad más del 80% de la generación mundial de electricidad de origen nuclear; sin embargo, el panorama de esta fuente energética resulta bastante sombrío, sobre todo si se compara con los programas diseñados a comienzos de los años 70. El rápido crecimiento de la capacidad nuclear, que se planeaba en los países de la OCDE a mediados de los 70 es asunto del pasado ya que, con las excepciones de Francia y Japón, los planes nucleares del área desarrollada han sido severamente recortados.

Uno de los factores que más ha afectado a los programas nucleares en el mundo desarrollado han sido las preocupaciones en torno a la seguridad, particularmente, después de los accidentes de *Three Mile Island*, en *Pennsylvania*, EE.UU. (1979) y el de *Chemobyl*, Ucrania (1986). Otros factores que también han contribuido a desestimular los programas de energía nuclear han sido el rápido crecimiento de los costos, la desaceleración de la demanda de electricidad y la erosión de los precios del petróleo a partir de mediados de los 80.

En los EE.UU. se pasó de un nivel récord de 20-40 nuevas plantas nucleares por año a comienzos de los 70, a un promedio de 3 nuevas órdenes entre 1975 y 1978 (Deudney y Flavin, 1983: 27); desde entonces no se han ordenado nuevas inversiones. En Suecia, un referéndum celebrado en 1980 prohibió la aprobación de nuevas órdenes y decretó el abandono del programa nuclear para el año 2010.

Las proyecciones de la capacidad nuclear de la OCDE para el año 2000 han sido revisadas a la baja sistemáticamente, desde 365 GWe pronosticados en 1986 hasta 297 GWe estimados en 1990. A mediados de los 90, sólo dos países miembros de la OCDE, Francia y Japón, habían anunciado oficialmente planes para incrementar su capacidad nuclear instalada más allá del 2000 (ver De la Ferte, 1990; IEA, 1996b).

De acuerdo con algunos estudios especializados la mayoría de los gobiernos de la OCDE mantendrían la opción nuclear en la lista de las fuentes energéticas con potencial para reducir los daños ambientales provocados por las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero. En este sentido, los países de la OCDE buscan optimizar la eficiencia de los sistemas de reactores existentes, sobre todo en el caso de los reactores PWR (*Pressurized Water-cooled Reactors*), que representan el 85% de la capacidad nuclear instalada en la OCDE (ver Häfele, 1989; De la Ferte 1990; Clarke, 1991).

Adicionalmente, varios países se han trazado el objetivo de aislar de forma permanente los desechos con alto grado de radioactividad, en los primeras décadas del próximo siglo: Alemania, Francia y EE.UU. hacia el 2010; Bélgica, Canadá, Finlandia, España, Suecia y Suiza, hacia el 2020; y el Reino Unido, algunos años después. La cooperación entre estos países se fomenta mediante programas

internacionales de investigación nuclear, pero está lejos de recuperarse la confianza de la opinión pública en este tipo de energía.

4.1.3. Fomento de fuentes renovables

Durante los años 70 y 80, bajo las condiciones de altos precios del petróleo, también se estimuló el desarrollo de **fuentes energéticas renovables** (eólica, geotermia, solar, hidroelectricidad, y otras), registrándose en los países de la OCDE el mayor avance a nivel internacional en estas áreas, sobre todo en cuanto al desarrollo de nuevas tecnologías.

a) Las energías renovables en condiciones de altos precios del petróleo (1973-85): esfuerzos y resultados

Durante la segunda mitad de los años 70 y comienzos de los 80, numerosos países como Australia, Austria, EE.UU., Holanda, Canadá, Japón, Suecia, Alemania y Dinamarca, entre otros, aplicaron incentivos especiales para desarrollar las fuentes renovables, particularmente la energía solar. Así, por ejemplo, Australia eliminó los impuestos a las ventas de instalaciones solares; Austria introdujo incentivos fiscales para las instalaciones solares y de biomasa; EE.UU. estableció un Banco Solar para contribuir al financiamiento de sistemas solares; Holanda propuso reducciones de impuestos para las inversiones en equipo energético solar, eólico y en aprovechamiento de desechos; Canadá lanzó un importante programa para expandir el uso de la biomasa y de la energía solar; y Japón otorgó subsidios a las empresas privadas e instituciones públicas para la instalación de sistemas solares.

Adicionalmente, el presupuesto de los gobiernos de la AIE para I-D en tecnologías renovables se incrementó de 483 millones de dólares en 1977 a 1180 millones de dólares en 1980 (dólares de 1984) (IEA, 1985: 32).

A partir de los esfuerzos realizados en períodos de altos precios del petróleo, para el conjunto de los países de OCDE las fuentes nuevas y renovables mostraron un rápido crecimiento en la generación eléctrica entre 1973 y 1993, con excepción de la hidroenergía que sólo creció en 1.6% promedio anual en ese período. En efecto, la

generación de electricidad de origen geotérmico/solar se incrementó en un 7.9% por año; mientras la electricidad obtenida a partir de otras fuentes renovables aumentó a un ritmo anual del 13.4%. El conjunto de las fuentes renovables aportaba en 1995 el 18.3% de la generación eléctrica total en la OCDE (16.1% corresponde a la hidroelectricidad), como muestra la tabla T4.1.

Tabla T4.1

Generación de electricidad por fuentes en la OCDE, 1995

Fuentes	Aporte en 1995(%)	Ritmo promedio anual 1973-93 (%)
Carbón	38.2	3.2
Petróleo	7.2	-3.7
Gas natural	12.6	2.7
Nuclear	23.7	12.0
Geotermia/Solar	0.5	7.9
Otras renovables	1.7	13.4
Hidroelectricidad	16.1	1.6
Total	100	2.9

Fuente: *Petroleum Economist*, abril 1996: 25.

Algunos de los resultados más notables de los programas de fomento de las energías renovables en el conjunto de países de la OCDE están relacionados con la utilización de la **energía eólica**. En este sentido, cabe apuntar que a comienzos de la actual década existían más de 20 mil plantas productoras de electricidad a partir de esta fuente a nivel internacional, ubicadas preferentemente en California y Dinamarca. Con una capacidad generadora de eoloelectricidad de unos 1500 MW, suficientes para satisfacer los requerimientos de energía del sector residencial de la ciudad de San Francisco, California produce el 1.5% de la electricidad del Estado a partir de esta fuente.

Entre los países de la OCDE que se destacaban por la capacidad instalada para la generación de eoloelectricidad en 1995 se encuentran, además de los EE.UU. (1900 MW), Alemania (632 MW) y Dinamarca (530 MW). EE.UU. espera incrementar en un 13.2% anual la producción de electricidad de origen eólico hasta el año 2010; luego de registrarse una caída de su participación en la capacidad mundial de este tipo de generación eléctrica de un 90% a 30% en 1988-95; en tanto la Unión Europea prevé incrementar su respectiva capacidad generadora hasta 8 GW (1% de la electricidad total) en el 2005 (ver DOE, 1997c).

En Europa, cabe destacar el caso de Dinamarca, donde se ha aplicado el mayor programa de aprovechamiento de energía eólica del mundo. En 1990, la mitad de la capacidad generadora de eoloelectricidad de la Comunidad Económica Europea, era aportada por ese país, que cubría con la energía eólica el 2% de su demanda eléctrica. Además de Dinamarca, se destaca el aporte de Alemania y Holanda, en el aprovechamiento de este tipo de energía en el contexto europeo.

Otra información de interés en el campo de las energías renovables dentro de la OCDE es el comienzo de operaciones, a mediados de los años 80, de las dos mayores plantas de aprovechamiento de la energía de las olas en Noruega, con una capacidad combinada de 0.85 MW. Además, por más de dos décadas Francia ha operado la mayor planta de electricidad a partir de las mareas, y Canadá contaba con una capacidad instalada de 18 MW, a finales de la pasada década, en instalaciones de este tipo.

El consumo de **hidroelectricidad** en los países de la OCDE aumentó de 75 millones de toneladas de petróleo equivalente (MTPE) en 1971 a 113 MTPE en 1996, manteniendo un aporte del 2.5% al balance de energía comercial. En el presente, un avance ulterior en esta dirección resulta limitado por los altos costos y la creciente oposición pública a nuevos proyectos de gran escala, debido a los daños ambientales potenciales. No debe olvidarse que el área de la OCDE es una región madura en cuanto al aprovechamiento de esta fuente energética (IEA, 1996b: 53)

En Norteamérica, se destaca el aporte hidroeléctrico de EE.UU. y Canadá, con un consumo anual de 28.8 MTPE y 30.3 MTPE, respectivamente, en 1996; mientras

que de los países europeos de la OCDE cabe mencionar los casos de Noruega, Suecia y Francia que absorben alrededor del 50% de consumo de hidroelectricidad en esa región (DOE, 1997c).

En los EE.UU., los altos precios vigentes durante la segunda mitad de los años 70 condicionaron el establecimiento de un programa energético integral para hacer frente a las necesidades inmediatas y futuras del país. Ese programa gubernamental incluyó no sólo investigaciones básicas y aplicadas en el campo de las fuentes renovables, sino también la participación conjunta con el sector privado en proyectos demostrativos, comercialización y disseminación de información; la introducción de mecanismos de mercado como incentivos fiscales; y la creación de un mercado de electricidad para los productores independientes.

Con relación al alcance de los programas de fomento de las energías renovables en los EE.UU. cabe señalar que estas fuentes energéticas representaron en 1995 alrededor de 7% de la demanda energética nacional de EE.UU.; es decir alrededor de 6.4 quads¹, de los 89 quads de consumo energético anual de ese país. La hidroelectricidad aporta un 4%, la combustión de la madera un 3%, y otras fuentes menos del 1%. En la composición de las fuentes energéticas renovables utilizadas en los EE.UU., la hidroenergía aporta el 48%, la biomasa 44%, la geotermia 6% y la energía solar/eólica 2%.

EE.UU. es el principal productor de electricidad de origen geotérmico (unos 16900 GWh), y concentraba la mayor parte de los 700 GWh de electricidad de origen fototérmico generados en el mundo a comienzos de este decenio (WRI, 1994: 167). También ese país es el segundo mayor productor de alcohol combustible, después de Brasil, con una destilación de unos 20 millones de barriles por día a finales de los años 80; aunque se señala que este programa ha sido altamente subsidiado y descansa en ciertos cultivos de alimentos en tierras de primera clase (Flavin, 1989: 42).

Según fuentes especializadas norteamericanas, de continuar las condiciones políticas de los años 90, hacia el 2010 se producirían anualmente unos 8-10 quads de energía renovable en EE.UU., lo que sería equivalente a un 8% de la demanda

¹ Un quad equivale a 10¹⁵ unidades térmicas británicas.

total de energía; aunque se aclara que si se adoptan políticas dirigidas a internalizar los costos ambientales de las distintas fuentes energéticas, se favorecería a las renovables, cuya participación en el balance total de la Unión podría entonces oscilar entre 18% y 26% en el 2010, según el avance que se logre en esa dirección **(ver Sissine, 1997).**

En general, como ha podido observarse, los resultados de los programas para el fomento de las energías renovables en la OCDE han sido limitados, lo que resulta evidente sobre todo cuando se analiza su aporte al balance energético. En 1990 las fuentes renovables (excluyendo a la generación de hidroelectricidad en gran escala), representaban el 5% del consumo energético de los países industrializados **(Goldemberg, 1995: 1).**

Visto en perspectiva, este panorama podría tornarse más sombrío, sobre todo si se tiene en cuenta el recorte sufrido por muchos de estos programas a partir de mediados de los 80, cuyos efectos ya se han comenzado a sentir en algunos de estos países.

b) Las energías renovables en condiciones de precios petroleros deprimidos (1986-90s)

El deterioro de las cotizaciones internacionales del petróleo, particularmente después de 1986, y la filosofía de libre mercado, predominante en países como EE.UU. y Reino Unido, han desalentado el avance de este tipo de inversiones. En 1989 las fuentes renovables sólo captaban el 7% del presupuesto para I-D con fines energéticos de los estados de la AIE **(Flavin y Lenssen, 1990: 35)**, y esa proporción se ha mantenido por debajo del 10% en los años transcurridos de la presente década.

En los EE.UU., donde el gobierno invirtió alrededor de 8.8 miles de millones de dólares (dólares constantes de 1992) entre 1973 y 1993 para I-D en energía renovable²; el gasto real para ese fin disminuyó en un 91%, desde un nivel récord de 1.27 mil millones de dólares en el año fiscal 1979 hasta 119 millones de dólares en

² Esa cifra representa alrededor del 11% de los recursos de I-D orientados a la oferta energética en 1973-93.

el año fiscal 1990. Dicho gasto aumentó gradualmente durante la primera mitad de este decenio hasta alcanzar 289 millones de dólares en el año fiscal 1995; pero esta última cifra todavía resulta inferior al nivel de 1979 en un 77%.

Dado el compromiso explícito de la Administración Clinton con las fuentes renovables, el nivel del presupuesto para ese subsector aumentó en 1994 y 1995; sin embargo, en 1996 el monto aprobado por el Congreso para estos fines resultó inferior en un 23% al del año precedente, y para 1997 se aprobó un recorte adicional del 6%, con lo que el presupuesto para I-D en renovables se redujo a dos terceras partes del nivel de 1995.

En efecto, desde 1995 los montos del presupuesto en cuestión aprobados por el Congreso han sido inferiores a los solicitados por la Administración demócrata, lo que ha representado un cambio histórico, condicionado al menos en parte por las presiones que genera el déficit presupuestario de EE.UU.. Estos continuos recortes al presupuesto de las energías renovables en los EE.UU. pudieran interpretarse como una transferencia de liderazgo tecnológico en esa esfera a favor de Alemania y Japón.

La historia del presupuesto para I-D en energías renovables en los EE.UU. debe ser analizado en el contexto de los otros tres presupuestos para I-D en el sector energético: nuclear, combustibles fósiles y eficiencia energética. El gasto total para 1948-1995 fue de 103 miles de millones de dólares: 62 mil millones (60%) en el subsector nuclear, 25 mil millones (24%) en combustibles fósiles, 10 mil millones (10%) en renovables y 6 mil millones (6%) en eficiencia energética. De 1973 a 1995, el gobierno federal gastó 41 mil millones de dólares en I-D nuclear, 20 mil millones de dólares en combustibles fósiles, 10 mil millones de dólares en renovables y 6 mil millones de dólares en eficiencia energética (Sissine, 1997).

En general, el valor estimado de los subsidios energéticos federales (incentivos fiscales, gastos en I-D, donaciones, préstamos, etc.) en 1989 fue de 38 mil millones de dólares, y ese monto equivale al 8% del gasto energético total de la nación de 458 mil millones de dólares en ese año. Del valor total de esos subsidios,

58% favoreció a los combustibles fósiles, 29% a la fisión nuclear, 3% a la eficiencia energética y 2% a promover las nuevas tecnologías renovables.

Como puede apreciarse las reducciones experimentadas en los presupuestos de I-D para fuentes renovables desde mediados de los años 80, tienen como telón de fondo una estructura presupuestaria que ha favorecido históricamente a la energía nuclear y a los combustibles fósiles, en detrimento de las energías renovables y la eficiencia energética. Tales patrones explican en gran medida la subutilización del potencial existente para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía en EE.UU. (ver tabla T4.2)

Tabla T4.2

Potencialidades de las fuentes renovables de energía en los EE.UU., 1994, en Quads(*) anuales

Fuentes energéticas	Potencial	Aprovechamiento actual
Solar (Fotovoltaica)	6.7	Menos de 0.01
Solar (Térmica)	10.2	0.1
Hidroenergía (pequeña escala)	5.1	2.9
Metano (Áreas rurales)	1.0	0.0
Eólica	10.7	0.03
Biomasa	19.1	3.2
Geotermia	5.3	0.36

Nota: (*) Quads = 10^{15} unidades térmicas británicas.

Fuente: Gronbeck, 1997

El monto acumulado de electricidad generada por productores independientes de EE.UU. a partir de fuentes renovables fue de 19,000 MW en 1980-1991 y los estados líderes en este tipo de generación son: California, Nevada, New York, New Jersey, Florida, Maine, New Hampshire, Idaho, Massachusetts y Texas. Sin embargo, como resultado de la más reciente desregulación experimentada por los mercados energéticos norteamericanos, la parte de las fuentes renovables en las

compras de las empresas públicas de electricidad a pequeños productores cayó significativamente desde 5,400 MW en 1986 y hasta 1,200 MW en 1991³

En el Reino Unido, por su parte, el presupuesto para I-D en fuentes de energía renovable, luego de acumular unos 545 millones de dólares entre 1974 y 1993 (dólares constantes de 1993), se contrajo en un 20% en 1994-95, y se esperan reducciones ulteriores en los próximos años, en un contexto dominado por la erosión de los precios de los combustibles fósiles. (DOE, 1997c).

En los últimos 10 años, sin embargo, varios países han anunciado planes para incrementar sus inversiones en fuentes energéticas renovables, como parte de los programas para enfrentar los problemas ambientales derivados del efecto invernadero. Probablemente, uno de los países más comprometidos en esta dirección es Dinamarca, que pretende elevar la participación de las fuentes renovables en el consumo de energía primaria desde 8% en 1994 hasta 13% en el 2005 y alrededor de 35% en el 2030. En los EE.UU., el marco actual para el programa de energías renovables es el programa energético nacional de 1995 (Estrategia de Energía Sostenible), que se basa en tres objetivos nacionales: maximizar la productividad energética; prevenir la contaminación; y asegurar la seguridad energética.

La industria que suministra productos y servicios para el aprovechamiento de las fuentes nuevas y renovables ha mostrado gran dinamismo en los países de la OCDE durante el presente decenio, y en algunos casos (EE.UU., Canadá y Japón) es considerada explícitamente como un segmento de la industria ambiental, con un creciente potencial exportador.

En los EE.UU, la industria de energías nuevas y renovables generó 2.1 mil millones de dólares en 1993; aportados por la energía geotérmica, solar, eólica y la administración de la demanda (*demand side management*)⁴. Además, las exportaciones de este segmento productivo ascienden a unos 500 millones de dólares

³ En 1991 los productores independientes de electricidad a partir de fuentes renovables en los EE.UU. aportaban el 1.3% de la electricidad total generada en el país.

⁴ Obsérvese que la administración de la demanda es considerada como una fuente de energía, bajo la forma de eficiencia energética

y, sólo los ingresos de las compañías independientes norteamericanas de administración de la demanda ascienden a 300 millones de dólares anuales.

En cuanto al aporte de estas industrias al desarrollo regional de EE.UU. cabe señalar, por ejemplo, que los productores de turbinas y otros equipos para el aprovechamiento de la energía eólica contribuyeron en 1994 a las economías de 44 estados norteamericanos, con la creación de miles de puestos de trabajo.

En Japón, el mercado estimado de tecnologías energéticas sostenibles ascendió a 19.4 mil millones de dólares en 1994; de los cuales 1.4 mil millones de dólares correspondieron a las fuentes nuevas y renovables (OECD, 1996).

En sentido general, en el contexto actual los programas de fomento de las energías renovables en los países de la OCDE se hayan bajo el efecto de dos tendencias contrapuestas. De un lado, la persistencia de precios relativamente bajos para los hidrocarburos, las presiones fiscales, y los procesos de desregulación energética tienden a afectar sensiblemente el curso futuro de estos programas; de otro lado, las crecientes preocupaciones en torno a las implicaciones ambientales negativas del sector energético tienden a reforzar las políticas orientadas al fomento de las tecnologías energéticas sostenibles, como elemento clave para asegurar la competitividad futura de estas economías.

Según estimados recientes, que parecen combinar ambas tendencias, la electricidad de origen geotérmico, eólico, solar y proveniente de las olas podría registrar un rápido crecimiento en el área de la OCDE en los próximos años, a una tasa de crecimiento promedio anual de entre 7% y 9% hasta el año 2010; aunque el aporte a la generación eléctrica total todavía no superaría el 2% en el 2010 (IEA, 1996b: 54).

4.2. Ahorro y conservación de energía

En lo relacionado con la conservación energética, los programas de la AIE de los años 70 y 80 incluían tres componentes básicos:

- **programas de información**, dirigidos a motivar y crear conciencia en torno al tema, explicar las oportunidades de conservación, mejorar las habilidades técnicas, etc.;

- **incentivos financieros**, en forma de donaciones, estímulos fiscales y créditos blandos. Este tipo de instrumento ha sido de gran importancia para la introducción de nuevas tecnologías al mercado;
- **regulaciones y normas** para asegurar el cumplimiento de niveles mínimos de eficiencia (IEA, 1987).

Una primera aproximación a los resultados de los programas de ahorro y conservación energética en la OCDE puede obtenerse mediante el análisis de la evolución de la intensidad energética. Este indicador mostró una caída de casi 26% entre 1973 y 1985, debido al mejoramiento de la eficiencia energética y a cambios en la estructura económica. La caída de la intensidad energética en este período se explica entre un 65% y un 75% por la innovación tecnológica, y cerca de la mitad de dicha disminución ocurrió en 1979-82. En el período 1985-94 la intensidad energética en la OCDE se redujo en alrededor de un 7% (ver Anexo IV.1).

4.2.1. Período 1973-85: los mayores progresos

Si bien el incremento tendencial de la eficiencia energética es un resultado lógico de la evolución tecnológica a largo plazo, no cabe dudas de que este proceso se aceleró considerablemente en los países industrializados, a partir del primer *shock* petrolero de 1973-74.

Entre 1974 y 1984 la demanda energética del sector industrial de los países de la OCDE disminuyó en un 1.3%, como promedio anual, al tiempo que la producción de la industria se incrementó en alrededor de un 2%, lo que refleja una caída de la intensidad energética en este sector de un 30%. En estos países el sector industrial absorbía el 35% del consumo energético en 1985 (IEA, 1987: 47).

La reducción de la intensidad energética de los países industrializados durante el período de altos precios de los hidrocarburos (1973-85) se explica en gran medida por la acción combinada de las políticas gubernamentales y las respuestas del sector privado a las condiciones del mercado.

En ese período, la estructura y las tecnologías de los procesos industriales en estos países experimentaron cambios notables, como consecuencia del auge de las

industrias menos intensivas en energía en el contexto del nuevo paradigma tecnológico, la transferencia de muchas de las tecnologías intensivas en energéticos hacia países de menor desarrollo, la modernización de los equipos y procesos existentes y la introducción de nuevos procesos ahorradores de energía en el sector industrial, entre otros factores.

Adicionalmente, la eficiencia energética de los sectores de transporte, residencial, comercial y público de los países de la OCDE también mostró mejoras sustanciales hasta la primera mitad de los años 80.

En el sector de transporte, después de un período de lento crecimiento de la demanda de energía entre 1973 y 1979, este indicador cayó entre 1979 y 1982, para luego registrar ligeros incrementos. El consumo de energía por pasajero y vehículo comercial disminuyó en un 20% entre 1973 y 1983, lo que se explica en un 65% por el mejoramiento de la eficiencia energética y en un 35% por la reducción en la distancia promedio recorrida por vehículo. En EE.UU., la aplicación de *standards* obligatorios, permitió duplicar la eficiencia energética de los nuevos autos entre 1975 y 1985 (USCAN/CAN, 1995: 2).

En los sectores residencial, comercial y público la aplicación de nuevas tecnologías en los edificios y los sistemas de iluminación también contribuyó a reducir la intensidad energética. Así, por ejemplo, el consumo de energía por empleado en los EE.UU. cayó en 24% entre 1970 y 1982 (WRI, 1989: 117).

A mediados de los años 80 la eficiencia energética de los refrigeradores se había incrementado en 11-25%; las pérdidas de calor en las nuevas viviendas disminuyeron en 20-50%; y la eficiencia de los sistemas de iluminación aumentó en alrededor de un 10%, en los sistemas de calefacción, enfriamiento y ventilación, en más de 10%, y en los motores industriales, en cerca de un 5% (Friedrichs y Unterwurzacher, 1989: 27).

En sentido general, tal evolución de la intensidad energética en los países de la OCDE echó por tierra la idea de que el incremento de la oferta de energía resultaba esencial para asegurar el crecimiento de las economías industrializadas. En estos países que absorben casi 60% del consumo petrolero mundial, la demanda de

petróleo, después de crecer a un ritmo promedio anual de 7.5% en 1966-73 y de 0,5% en 1973-79, se redujo en más de un 3% en el período 1979-85 (BP, 1988). Además, el consumo de petróleo por unidad de producción disminuyó en alrededor de un 40% entre 1974 y 1985.

El alcance de los programas de ahorro y conservación energética ha sido diferente en los principales países industrializados. En EE.UU. el impacto de estos programas fue, en general, menos relevante que en Japón, al punto que en 1985 la intensidad energética norteamericana era de 2.84 barriles de petróleo equivalente (BPE)/1000 dólares de PNB, frente a 1.80 BPE/1000 dólares de PNB en Japón (ver Anexo IV.1).

Los diferentes patrones energéticos de EE.UU. y Japón, se explican en gran medida por la desigual dotación de recursos energéticos de estos centros de poder. Japón tiene una elevada dependencia de los recursos energéticos importados, con particular referencia a los hidrocarburos; mientras que EE.UU. cuenta con 3% de las reservas petroleras mundiales, 3% de las de gas y 23% de las de carbón, lo que hace a este país más autosuficiente en el plano energético.

La política de ahorro y conservación de energía aplicada en Japón durante el período de altos precios del petróleo (1973-85) ha sido considerada como una de las más exitosas. En el curso de esos años, mientras el PIB real (en dólares de 1985) aumentó en casi un 56%, el consumo total de energía apenas se incrementó en un 3%, lo refleja una caída de la intensidad energética de este país de casi 33% (-49% en el caso de la intensidad petrolera).

El Ministerio de Comercio Internacional e Industrias (MITI) de Japón fue el encargado del diseño y puesta en práctica de la política de conservación energética del país. En 1975 se estableció la Oficina de Planeación de la Política de Conservación de la Energía, como parte de la Agencia de Recursos Naturales y Energía del MITI. La política de conservación energética de Japón incluye cuatro categorías de medidas:

- medidas consideradas en la Ley de Conservación de Energía de 1979, con relación a las normas de racionalización en el uso de energía en fábricas, edificios y aplicaciones específicas;
- incentivos para la conservación energética: ayuda financiera e instrumentos fiscales;
- investigación y desarrollo (*Proyecto Moonlight*);
- actividades de publicidad (**Yoda, 1990: 9-10**).

Los indicadores del comercio exterior petrolero de la OCDE reflejan con claridad los efectos de la política energética de estos países durante el período de elevadas cotizaciones de los hidrocarburos. El resultado combinado de la drástica contracción en el consumo petrolero y del incremento en la producción local de hidrocarburos fue una reducción de casi 39% en las importaciones petroleras netas., entre 1975 y 1985 (**IEA, 1996**).

Otro rasgo importante del comercio petrolero de la OCDE en estos años fue la marcada reorientación geográfica de los flujos de exportación, en detrimento de la zona del Medio Oriente. En efecto, el aporte del Medio Oriente a las compras petroleras de la OCDE cayó de 65% en 1975 a 34% en 1985; en el caso de las importaciones de petróleo de los EE.UU., la reducción de la participación del Medio Oriente fue de 31% en 1960 a 9% en 1985, para Europa Occidental de 82% a 35%, y para Japón de 80% a 64% (**OECD, 1977; BP, 1986: 18**).

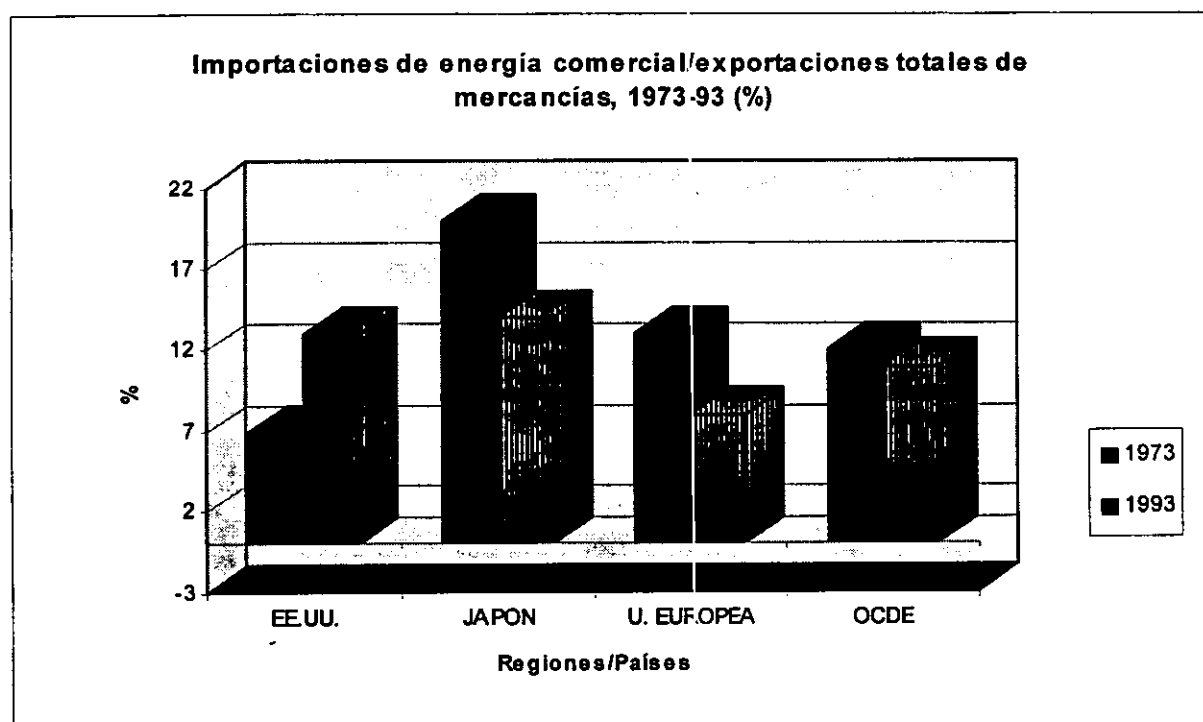
En términos de valor, las importaciones petroleras netas del área de la OCDE, luego de crecer de 33.8 mil millones de dólares en 1973 a 263.8 mil millones de dólares en 1980, registraron una declinación sostenida durante la primera mitad de los años 80, acumulando una caída superior al 40% hasta 1985. Esta tendencia declinante en el valor de las importaciones netas se explica, en alto grado, por la caída del volumen importado, como se mencionó anteriormente; pero, además, se debe al gradual deterioro de las cotizaciones del petróleo ocurrido en 1981-85.

4.2.2. Período 1986-97: las nuevas tendencias

Durante el período de cotizaciones petroleras relativamente bajas, iniciado con la abrupta caída de precios del petróleo ocurrida en 1986, el consumo de petróleo de la OCDE ha registrado un marcado repunte; entre 1985 y 1994 este indicador creció en más de 14%. Sin embargo, todavía en 1994 el volumen de petróleo consumido era inferior al nivel récord de 1978-79 en alrededor de un 8%, a pesar de que el PIB conjunto de estas naciones se incrementó en un 42% en igual período.

Una parte creciente del aumento en el consumo petrolero de los países de OCDE a partir de 1986 ha pasado a ser cubierto por importaciones. En efecto, entre 1986 y 1996 el volumen de importaciones netas de este grupo de países aumentó en un 29%; y volvió a incrementarse la dependencia con respecto a las compras de petróleo en el Medio Oriente, que en 1996 llegaron a representar alrededor del 38% del total de importaciones petroleras de la OCDE, frente a 34% en 1985.

Gráfico G4.3



Fuente: Elaboración a partir de UNDP (1996).

Para el conjunto de los países de la OCDE, las importaciones de energía comercial (preferentemente petróleo) absorbían 11% de los ingresos totales por concepto de exportaciones de mercancías en 1993 (12% en 1973). Sin embargo, el comportamiento de este indicador en 1973-93 varía significativamente por países y regiones del área desarrollada, como se observa en el **gráfico G4.3**.

En efecto, mientras la Unión Europea y Japón muestran una reducción significativa del coeficiente "importaciones de energía comercial/exportaciones totales de mercancías" entre 1973 y 1993; en los EE.UU. dicha proporción casi se duplica en ese período. Nótese sin embargo que, de los tres centros económicos comparados, Japón sigue siendo el más dependiente de las importaciones de energía comercial (básicamente petróleo), que en 1993 absorbían el 14% de los ingresos de exportación de mercancías de ese país.

En cuanto a la intensidad energética total de la OCDE, la disminución del 26% en 1973-85 fue seguida por una contracción del 7% en los diez años posteriores, lo que revela el carácter estructural de muchos de los cambios emprendidos en períodos anteriores con vistas a incrementar la eficiencia energética. La intensidad petrolera de estas economías, que se había reducido en un 39% entre 1973 y 1985 bajo el impacto de los altas cotizaciones de los hidrocarburos, se contrajo adicionalmente en cerca de un 8% en 1985-1994, aún en condiciones de bajos precios del petróleo (**ver Anexo IV.1**).

No obstante, debe recordarse que el mantenimiento de bajas cotizaciones del crudo en los últimos diez años ha desestimulado la adopción de nuevas medidas dirigidas a desarrollar fuentes energéticas alternativas y a incrementar la eficiencia energética en los países de la OCDE. En este contexto, a nivel internacional diversos grupos de presión se han pronunciado por el diseño de políticas energéticas que se rijan, preferentemente, por las condiciones del mercado, lo que implicaría que los gobiernos dedicarían menos atención a los asuntos energéticos, en general, y al desarrollo de las tecnologías energéticas sostenibles, en particular.

La ola de privatizaciones y desregulaciones que ha tenido lugar en el sector energético de la OCDE desde mediados de los años 80, se ha hecho particularmente

evidente en países como el Reino Unido y EE.UU. Siguiendo esta filosofía, en los EE.UU. las administraciones de Reagan y Bush recortaron de forma significativa los fondos de los programas de conservación energética y sustitución de petróleo.

Incluso en el período de altos precios del petróleo, existían ciertas barreras institucionales y de mercado para mejorar la eficiencia energética en los países de la OCDE, tales como falta de información y de habilidades técnicas, indefinición de las responsabilidades entre los productores y los usuarios, entre otras. Además, diversas compañías, obsesionadas con las ganancias en el corto plazo, se mostraban reacias a llevar a cabo inversiones en conservación energética. Todas estas barreras se han reforzado en condiciones de precios bajos del petróleo.

Los bajos precios y la oferta energética aparentemente segura han conducido a un estado de complacencia en relación con los asuntos energéticos, que resulta más afianzado en este contexto que en cualquier otro período posterior a 1970. En estas condiciones, como se ha mencionado antes, un nuevo factor promotor de tecnologías ahorradoras se ha dejado sentir con cierta fuerza en el diseño de las políticas tecnológicas de estos países. Ciertamente, han aumentado las presiones ecologistas dirigidas a reducir el impacto negativo del sector energético sobre el medio ambiente (sobre todo en lo relacionado con el efecto invernadero) y a crear condiciones globales para un desarrollo sostenible, lo que se ha puesto de manifiesto en la CNUMAD, Brasil/1992, y en las Conferencias de las Partes (COP) de la CMNUCC.

De acuerdo con cálculos recientes, en lo relacionado con la extracción y conversión de energía primaria, la transmisión y la distribución, en los países industrializados el uso específico de energía pudiera reducirse entre un 10% y 40%, con relación a los niveles actuales de consumo. En los casos de mejoramiento de la eficiencia en instalaciones ya existentes, el correspondiente potencial de reducción sería de un 20% a 50%, y en los casos de nuevas instalaciones dicho potencial oscilaría entre 50% y 90%. A juicio de los autores de estos cálculos, el aprovechamiento de estas potencialidades de conservación sería menos costoso que las inversiones dirigidas a incrementar la oferta energética (Goldemberg y Johansson, 1995: 12-13).

a) Contexto norteamericano

El consumo petrolero de los EE.UU., después de caer en casi 13% entre 1973 y 1985; se incrementó en un 14% en 1985-94, bajo el estímulo de los bajos precios de los hidrocarburos. Paralelamente, la intensidad energética que había disminuido en casi 29% en 1973-85, se redujo en alrededor de un 2% en 1985-94; y las importaciones netas de petróleo se incrementaron en casi 60% entre 1986 y 1996.

La Estrategia Energética Nacional, anunciada por la administración de G. Bush en febrero de 1991, contenía un conjunto de medidas dirigidas a incrementar la eficiencia energética en los distintos sectores de la economía. Sin embargo, esta estrategia, si bien más avanzada en algunos puntos con relación a la del Reino Unido, fue acusada de identificar oportunidades de innovación que resultaban más obvias que innovadoras. Este programa de la administración Bush representaba una política intermedia entre el intervencionismo de los años 70 y la filosofía del *laissez-faire* practicada en la década de los 80.

En lo relacionado con la adopción de políticas para reducir el impacto adverso del sector energético sobre el medio ambiente, cabe recordar las fuertes presiones ejercidas por los representantes de EE.UU., bajo la Administración de G. Bush, en las negociaciones de la CMNUCC, para evitar el establecimiento de metas y/o plazos en la reducción de los gases de efecto invernadero. Tras el falso argumento de que el establecimiento de límites a las emisiones de esos gases era prematuro, dada la falta de evidencia científica, se ocultaba la preocupación por los costos que entrañaría para ese país la adopción de una política energética más coherente con los criterios de sustentabilidad.

Debe tenerse en cuenta que en EE.UU. más del 90% de la energía comercial consumida en 1996 provenía de combustibles fósiles, que son la causa fundamental de las emisiones del principal gas de efecto invernadero (CO₂). En el período 1970-94 las emisiones de CO₂ derivadas del consumo de combustibles fósiles en los EE.UU. se incrementaron en alrededor de un 25%, y en 1994-95 este país seguía siendo el principal contribuyente a tales emisiones de CO₂, con un 24% del total mundial emitido

(ver Pagá y Gürer, 1996). Según estimaciones internacionales, las emisiones de CO₂ de EE.UU. crecerán de 5.42 miles de millones de toneladas (MMT) en 1990 hasta 6.64 MMT en el 2000.

Ese país consume alrededor del 25% de la energía comercial total, incluyendo 25% del petróleo, 29% del gas natural y 23% del carbón. En términos per cápita, el consumo norteamericano de combustibles fósiles era de 50.2 barriles de petróleo equivalente en 1995, o sea una cantidad superior en más de cinco veces a la media mundial, e incluso mayor al promedio de la OCDE que era de 27.7 barriles (ver BP, 1997 y OPEC, 1996).

El análisis de la intensidad energética revela que en 1993, dentro de los siete países más desarrollados, EE.UU. ocupaba el segundo lugar, después de Canadá; mientras que Japón exhibía la cifra más baja dentro de este selecto grupo, con apenas un 37% del nivel correspondiente a EE.UU. Así, se calcula que EE.UU. gasta el 10% de su PIB en energía, mientras Japón sólo gasta el 4% e invierte dos veces más que EE.UU. en I-D con fines energéticos. En consecuencia, EE.UU. produce alrededor de la mitad de las emisiones de CO₂ asociadas al sector energético dentro de la OCDE (IEA, 1995).

En el sector del transporte, por ejemplo, que absorbe las dos terceras partes del petróleo consumido por EE.UU., en los últimos diez años la eficiencia energética de los nuevos autos se ha estancado, luego del progreso logrado en 1975-85 (USCAN/CAN, 1995: 2). En sentido general, EE.UU., siendo responsable de alrededor del 18% del efecto invernadero global, ha tenido una reacción sumamente lenta ante ese fenómeno, en comparación con el resto del mundo desarrollado.

El gobierno demócrata de W. Clinton elevó al rango de Secretaría a la Agencia para la Protección del Medio Ambiente (EPA) y, entre otras acciones en materia de medio ambiente y desarrollo, adoptó, en octubre de 1993, el Plan de Acción sobre el Cambio Climático, donde se recoge el compromiso de estabilizar las emisiones de CO₂ en los niveles de 1990 para el año 2000⁵.

⁵ Según lo acordado en la COP-3 de la CMNUCC (Kyoto, diciembre de 1997), entre 2008 y 2012 EE.UU. deberá reducir sus emisiones de GEI en un 7%, con relación a los niveles de 1990.

Este plan se basa en la colaboración entre el gobierno y el sector privado, mediante programas voluntarios, donde se incluye el Programa Reto Climático (1994) entre la industria eléctrica y el Departamento de Energía. Debe tenerse en cuenta que las plantas eléctricas generan el 36% de las emisiones totales de CO₂ en los EE.UU.

En materia energética, la administración Clinton propuso, en su programa de gobierno, fomentar el uso de combustibles fósiles alternativos como el gas natural y de fuentes de energía renovables como la hidroelectricidad, la energía solar y la energía eólica. Este gobierno propuso gastar casi 3 mil millones de dólares en fuentes energéticas renovables y en conservación de energía en 1994-98.

En general, el gobierno de Clinton ha adoptado una perspectiva energética más amplia que las administraciones anteriores al considerar a la eficiencia energética como un elemento clave de una estrategia integral para el crecimiento económico, el mejoramiento ambiental y la competitividad comercial.

Debe tenerse en cuenta que las tres cuartas partes de la opinión pública norteamericana ha expresado su preocupación acerca del nivel de dependencia de los EE.UU. con respecto al petróleo importado, que ha alcanzado un nivel récord de alrededor de 50% del consumo petrolero (podría ascender a 60% en el 2010), lo que implica un costo económico de unos 50 mil millones de dólares anuales, es decir, más del 30% del déficit comercial de ese país.

Si bien uno de los objetivos declarados de los programas energéticos de la Administración demócrata ha sido incrementar la eficiencia energética de la economía norteamericana; en la práctica se han encontrado serios escollos para materializar ese propósito.

El presupuesto norteamericano para I-D en conservación energética había declinado desde 698 millones de dólares (dólares de 1996) en 1979 hasta 198 millones de dólares en 1988, y luego, aunque creció hasta 486 millones de dólares en 1994, se mantuvo por debajo del nivel de 1979 en un 31%. Debe recordarse que los presupuestos orientados a la I-D para mejorar la eficiencia energética, entre 1948 y 1995, apenas representaron el 6% de los fondos totales para I-D en el sector

energético durante ese período, en tanto los combustibles fósiles y la energía nuclear absorbieron la mayor parte.

El monto de dicho presupuesto para el 1996 registró un recorte real del 29% y luego, aunque se mantuvo prácticamente sin cambio en 1997, muestra para este último año un nivel equivalente al 75% del correspondiente a 1995. De mantenerse esta tendencia bajista, el programa podría ser eliminado hacia el año 2002.

En el programa electoral de Clinton también se abogaba por un incremento de la eficiencia energética del 20% para el año 2000; y para esto se planteó, por ejemplo, elevar las normas promedio de rendimiento del combustible a los fabricantes de vehículos a 40 millas por galón para el año 2000 y a 45 millas por galón en el 2005. En con relación esto, se ha planteado reducir las emisiones de los vehículos privados hasta niveles similares a los de 1990 para los años 2005, 2015 y 2025, aunque no se han adoptado decisiones significativas para lograr este objetivo.

En este contexto, se propuso el establecimiento de un nuevo impuesto energético, que gravaría a los productores de carbón, petróleo, gas natural y energía nuclear. Al cabo de tres años los ingresos fiscales derivados de este impuesto ascenderían a 22 mil millones de dólares y los precios energéticos totales aumentarían en 3-8% para los consumidores.

Aunque algunos analistas señalaron que este impuesto debería ser duplicado o triplicado para tener un impacto sustancial sobre los patrones de consumo energético de los EE.UU.; en la práctica se actuó en dirección contraria. La decisión final fue establecer un pequeño impuesto únicamente sobre la gasolina, lo que revela que si bien la administración Clinton ha mostrado más interés que su predecesora en contribuir con el proceso negociador internacional sobre medio ambiente y desarrollo, no ha logrado romper la inercia que generan los fuertes intereses económicos, que prefieren un mantenimiento del *status quo* antes que una costosa reorientación ambiental en el corto plazo.

Se estima que los programas de eficiencia y conservación energética redujeron el crecimiento en el consumo de energía primaria en alrededor de 31 quads entre 1973 y 1991, es decir en un del 27%; lo que se tradujo en un ahorro de

unos 275 mil millones de dólares anualmente, que equivale a alrededor de la mitad del gasto energético anual del país.

De los 31 quads ahorrados, 56% corresponde a la industria, 21% al sector residencial, 5% al sector comercial y 18% al transporte. Según diversos estimados la demanda energética de EE.UU. podría ubicarse en el rango 69-84 quads en el año 2010, en la medida en que se internalicen los costos ambientales de las distintas fuentes energéticas.

b) Contexto europeo y japonés

En los **países europeos de la OCDE**, el consumo de petróleo, que se había reducido en 23% entre 1973 y 1985, se incrementó en un 12% entre 1985 y 1994. Paralelamente, la intensidad energética, después de disminuir en 21% en 1973-85, continuó cayendo en 1985-94, pero a un ritmo inferior; es decir, sólo se redujo en un 12%.

Entre las respuestas de los estados de Europa Occidental, ante la erosión de la eficiencia energética en condiciones de bajos precios del petróleo, se incluye la adopción en 1989 de un Programa de Acción para el uso eficiente de la electricidad, teniendo en cuenta que el sector eléctrico absorbe el 35% del consumo de energía primaria en esos países y que tiene una participación creciente (17% a finales de los años 80) en el consumo final de energía. Entre los objetivos de este programa se encuentra el mejoramiento en la eficiencia de los equipos y procesos eléctricos y la promoción de los mismos en el mercado.

Reportes más recientes dan cuenta de que Europa Occidental aún no ha logrado superar la orientación del lado de la oferta en sus sistemas eléctricos, y en este sentido se sugiere un mayor aprovechamiento del potencial de conservación del lado de la demanda. En ausencia de ulteriores medidas de ahorro, el aumento de las emisiones de CO₂ de este subsector representaría la mitad del crecimiento de un 15% que podría ocurrir en las emisiones totales de CO₂ de estos países entre 2000 y 2015 (USCAN/CAN, 1995: 5).

Otro de los programas tecnológicos propuestos por la Comisión Europea a finales de los años 80 es el Programa para promover la Eficiencia Energética (SAVE), que serviría de complemento a los programas energéticos individuales de los estados miembros. El objetivo general de este programa era el de restablecer la prioridad de la eficiencia energética como un objetivo de política, que debe mantenerse incluso en períodos de bajos precios energéticos. Para estos países la eficiencia energética constituye el arma más importante en su arsenal de medios para combatir la contaminación derivada del sector energético.

En marzo de 1989 la Comisión Europea también aprobó un nuevo Programa de Tecnologías Energéticas (THERMIE), que cubre las áreas de eficiencia energética, energía renovable, combustibles sólidos e hidrocarburos. Con este programa se expresó la voluntad política de los estados comunitarios en el sentido de estimular el desarrollo de tecnologías innovadoras y la diseminación de las nuevas tecnologías en sus países. Este programa fue concebido para un período de cinco años (hasta 1994) y se ha extendido para 1995-1998.

Como parte del programa THERMIE, entre 1990 y 1993 se asignaron 426.1 millones de ECUs a 530 proyectos energéticos innovadores, de los cuales 197 correspondieron al desarrollo de fuentes renovables y 198 eran proyectos de conservación y uso racional de la energía. Entre los resultados que se esperan de estos proyectos emprendidos en 1990-93, pueden mencionarse un ahorro de 159.4 millones de toneladas de petróleo equivalente y reducción de emisiones en los siguientes montos: 625.3 millones de toneladas (MT) de CO₂; 4.5 MT de SO₂; 2.1 MT de NO_x; 2.15 MT de CO y 0.378 MT de componentes orgánicos volátiles (De Sampaio Nunes, 1994: 36-37).

A partir de la creación de la Unión Europea en 1992, se ha buscado un mayor acercamiento entre las políticas energéticas nacionales de los países miembros para aprovechar las ventajas que ofrece la Unión en esta esfera. Como punto de partida en ese proceso de aproximación, deben tomarse en cuenta los esfuerzos realizados en Europa para aumentar la eficiencia energética y promover tecnologías innovadoras en el sector hasta comienzos de este decenio. Entre 1975 y 1993 más de 3000 proyectos

recibieron un monto de financiamiento que superaba los 2000 millones de ECUs, aportado por las autoridades europeas para probar y promover tecnologías energéticas avanzadas.

En adición a este monto, las empresas europeas han financiado inversiones del orden de los 9000 millones de ECUs. Cabe destacar que alrededor del 60% de los proyectos involucraron a empresas pequeñas o medianas, que son consideradas como agentes muy activos y eficientes en la esfera de las tecnologías energéticas innovadoras.

Se calcula que las inversiones dirigidas a incrementar la eficiencia energética en el viejo continente en lo que resta de década incluyen tanto medidas voluntarias y regulatorias como fiscales, y se traducirían en la reducción de unos 60 millones de toneladas de carbono anuales, lo que representa alrededor de un 50% de lo requerido para lograr la estabilización de dichas emisiones en el año 2000 a los niveles de 1990.

A pesar de estos esfuerzos europeos, algunos estudios muestran preocupación en relación con las tendencias de las emisiones de gases de efecto invernadero en lo que resta de siglo, sobre todo en el sector de transporte, y se señala que en ausencia de cambios sustanciales en el panorama actual, la Unión Europea no estaría en condiciones de estabilizar las emisiones de CO₂ en el año 2000 a los niveles de 1990; incluso algunos reportes sugieren que dichas emisiones podrían registrar un aumento de más de 6% entre 1990 y el 2000, correspondiendo al sector transporte el 80% de este incremento (USCAN/CAN, 1995: 5).

En el caso de Japón, el consumo petrolero, que se había contraído en un 21% durante el período de altos precios (1973-85), se recuperó notablemente a partir de 1986, acumulando un incremento del 24% hasta 1994. Además, la intensidad energética, después de caer en casi 32% en 1973-85; sólo disminuyó en un 7% en 1985-94; y las importaciones petroleras crecieron en más de un 37% entre 1986 y 1996.

En este contexto, Japón, que logró casi duplicar su PIB entre 1973 y 1991, con un consumo de energía que sólo creció en 36% y emisiones de CO₂ que aumentaron en menos de 14%, también enfrenta el reto de adoptar ulteriores programas que

impidan la reversión de lo logrado y permitan nuevos progresos en cuanto al desarrollo de tecnologías energéticas limpias y eficientes. En este sentido se destaca el Nuevo Programa *Sunshine*, que en 1994 dio prioridad a la I-D orientada a las fuentes renovables y al ahorro energético (ver OECD, 1996).

Una tendencia preocupante en este sentido ha sido la caída de la eficiencia energética de los nuevos autos japoneses entre 1982 y 1990 en casi 12% (de 30.6 millas por galón a 27 millas por galón), sobre todo luego de que fuese eliminado en 1989 el impuesto sobre los vehículos de pasajeros (Energy, Economics and Climate Change, 1994: 3-5).

Un estudio de la OCDE sugiere que la política energética japonesa ha descansado preferentemente en los instrumentos administrativos, tales como standards de emisiones vs. instrumentos de mercado, para el logro de objetivos ambientales. Sobre esta base se propone un mayor uso de los mecanismos de mercado, tales como precios e impuestos, como componente de las políticas energética y ambiental de este país.

A mediados de 1993, a veinte años del primer *shock* petrolero, los 23 países miembros de la AIE identificaron un conjunto de nueve líneas de acción conocidas como Objetivos Compartidos (*Shared Goals*). El punto de partida fundamental de estos objetivos es el establecimiento de mercados libres y abiertos, al tiempo que se recaba el necesario énfasis de los gobiernos en lo relacionado con la seguridad energética y la protección ambiental.

Los nueve objetivos básicos, antes referidos, servirían de marco al diseño de las políticas energéticas de los países de la AIE; y abarcan:

- la diversidad, eficiencia y flexibilidad del sector energético, como condiciones básicas para la seguridad energética. Se reconoce la contribución de los combustibles no fósiles, particularmente la energía nuclear y la hidroelectricidad en la oferta energética de los países de la AIE;
- la capacidad de los sistemas energéticos para responder con rapidez y flexibilidad a las emergencias energéticas;

- el suministro y uso de energía bajo condiciones de sustentabilidad ambiental. Se considera que las intervenciones de los gobiernos, en los casos en que las mismas procedan, deben considerar el principio de que “el que contamina paga”;
- el estímulo y fomento de fuentes energéticas ambientalmente aceptables, lo que considera: el uso limpio y eficiente de combustibles fósiles; el desarrollo de fuentes no fósiles que resulten económicas; el mantenimiento y mejoramiento de la opción nuclear (por parte de algunos países miembros interesados) con los mayores patrones de seguridad; y fomento de fuentes renovables;
- el mejoramiento de la eficiencia energética, como vía para combinar la protección ambiental y la seguridad energética de forma rentable. Se reconocen las oportunidades de inversión en esta área, y se insta a los gobiernos y consumidores a materializar estas potencialidades;
- un continuo proceso de I-D e introducción al mercado de las tecnologías nuevas y mejoradas. Las políticas de tecnologías energéticas deben complementar las políticas energéticas más amplias; además se aboga por el fomento de la cooperación internacional con países no miembros de la AIE;
- precios energéticos transparentes que permitan a los mercados funcionar de forma eficiente. Se considera la inclusión de los costos ambientales de la producción y uso de energía, en los precios, siempre que sea necesario y practicable;
- un comercio libre y abierto;
- la cooperación entre todos los que participan en los mercados energéticos. Se reconoce la creciente interdependencia global de los mercados energéticos (Priddle, 1995).

Como ha podido apreciarse, los nuevos objetivos de política de los países miembros de la AIE, dedican especial atención, entre otras cosas, al mejoramiento de la eficiencia energética y al fomento de fuentes de energías menos contaminantes. No obstante, nótese que a diferencia de las estrategias diseñadas en los años 70, en que se abogaba por la independencia energética debido a razones de seguridad (de hecho este criterio fue el que dio vida a la AIE); en la actualidad se aboga por capitalizar los beneficios de la interdependencia energética en los mercados globales, en clara

referencia a lo que en esta investigación se define como un "nuevo orden energético (petrolero) mundial", que se ha conformado desde mediados de los 80 (ver epígrafe 3.2.1).

En resumen, los *shocks* petroleros ocurridos en 1973-74 y 1979-81 representaron un fuerte estímulo para la innovación tecnológica en los países capitalistas desarrollados, y entre las transformaciones tecnológicas llevadas a cabo en este período de altos precios del petróleo se destacan las dirigidas a elevar la eficiencia energética y a sustituir el petróleo por otras fuentes alternativas.

Este proceso fue bastante uniforme en el área de la OCDE, aunque el alcance en cada país fue diferente, en dependencia básicamente de su dotación de recursos energéticos. A partir de 1986, la erosión de los precios petroleros y el enfoque de "libre mercado" adoptado por algunos países de la OCDE han desestimulado los programas de energía sostenible antes mencionados.

No obstante, debe apuntarse que gran parte de los programas de conservación energética y de sustitución de petróleo, emprendidos en el período de altas cotizaciones de los hidrocarburos, tienden a ser irreversibles y se justifican en alto grado por sus implicaciones positivas desde el punto de vista ambiental. Los problemas ambientales relacionados con el sector energético están teniendo una incidencia creciente en el diseño de las tecnologías energéticas, sobre todo en las naciones industrializadas.

Capítulo V

Problemas y opciones para una reestructuración energética sostenible en los países subdesarrollados

5.1. Vulnerabilidad tecnológica, crisis energética y deterioro ambiental. Generalidades

La capacidad de ajuste de los países subdesarrollados a los patrones del nuevo paradigma energético ha sido extremadamente limitada debido, en gran medida, a las restricciones financieras y tecnológicas que enfrentan en el proceso de industrialización. Ante estas realidades, el sector energético debe ocupar un lugar prioritario a la hora de evaluar los requerimientos financieros y tecnológicos del Tercer Mundo.

Europa del Este y la ex-URSS también quedaron rezagados en el ajuste a los patrones de una reestructuración energética sostenible, como consecuencia de la adopción de modelos basados en el uso extensivo de los factores productivos (incluyendo los energéticos). En 1995 la intensidad energética de estos países superaba al nivel de la OCDE en más de 5 veces (**ver Anexo V.1**).

La vulnerabilidad tecnológica expresa el estado de subdesarrollo en que se halla la mayoría de los países del Tercer Mundo, y constituye la principal limitante para el necesario ajuste a los patrones del nuevo paradigma energético. El subdesarrollo tecnológico es entendido como la incapacidad de las estructuras socioeconómicas para generar medios modernos de producción y asegurar la disponibilidad de conocimientos útiles, eficiencia de la gestión y la organización del trabajo, así como aptitudes y competencia técnica.

El sector energético de estos países atraviesa una severa crisis, que impide satisfacer los requerimientos más elementales de sectores mayoritarios de la población y que tiene serias implicaciones ambientales. En 1994 el consumo per cápita de energía comercial del área subdesarrollada apenas representaba el 12.2% del nivel correspondiente a los países industrializados (**ver tabla T5.1**); amplios

sectores de la población del Tercer Mundo (30% en América Latina que es la región de mayor desarrollo relativo) continuaban excluidos de la cobertura de los servicios de electricidad y la deuda energética alcanzaba dimensiones alarmantes, unos 80 mil millones de dólares en Latinoamérica a comienzos de los 90. Además, en 1994 intensidad petrolera de los países del Tercer Mundo no miembros de la OPEP superaba a la de los países de la OCDE en un 84%.

Si se comparan los indicadores energéticos per cápita de las dos regiones del mundo que muestran mayor disparidad, se observa que en África (1994) el consumo de energía comercial por habitante apenas representa alrededor del 5% del nivel correspondiente a Norteamérica. Para Asia, incluyendo a China, esa relación es de 8% y en América Latina de 13%.

Tabla T5.1
Disponibilidad per cápita de energía comercial, 1994

Regiones	Energía comercial (TPE per cápita)	Cons. petrolero (lon. per cápita)	Cons. eléctrico. (KWh per cápita)
África	0.32	0.13	489
América Latina	0.81	0.49	1309
Asia	0.51	0.17	607
Medio Oriente	1.96	1.21	1927
Total Subdesarrollados	0.56	0.23	701
Total OCDE	4.58	1.95	7556

Nota:

TPE: Toneladas de petróleo equivalente.

Fuente: IEA (1996b: 302-307)

En este contexto, los sectores más pobres de la población en los países subdesarrollados, al no tener acceso a tecnologías energéticas eficientes, son forzados a depender de su propio trabajo, de la fuerza de los animales y de los combustibles tradicionales de la biomasa para satisfacer sus necesidades básicas. El costo de esta situación se mide en términos de tiempo y trabajo humano invertidos, problemas de salud y deterioro ambiental. Así, la mayoría de los países subdesarrollados se mueven en un entorno caracterizado por la vulnerabilidad tecnológica, la crisis energética y el deterioro ambiental.

Entre los factores externos que condicionan o determinan ese entorno de

crisis, se encuentran las restricciones financieras externas, asociadas directa o indirectamente al problema del endeudamiento externo, y los obstáculos a la transferencia de tecnologías avanzadas.

Entre 1982 y 1989, el servicio de la deuda externa del Tercer Mundo alcanzó un monto promedio anual de 140 mil millones de dólares, mientras que los gastos por concepto de I-D en estas naciones apenas alcanzó los 10 mil millones de dólares a finales de los años 80 (195 mil millones de dólares en los países industrializados) **(FMI, 1990; Naciones Unidas, 1990a)**. Los efectos de las restricciones financieras externas sobre el sector energético han continuado en el curso de la presente década y resultan particularmente adversos, sobre todo si se tienen en cuenta los elevados niveles de endeudamiento de este sector.

En lo referido a la transferencia de tecnologías energéticas, cabe agregar a lo ya expresado en otras secciones de este trabajo, que el mercado internacional para este tipo de tecnologías y los servicios correspondientes tienen una estructura marcadamente oligopólica. En otras palabras, la mayoría de los países subdesarrollados dependen en alto grado de una oferta de capital y tecnologías controlada por parte de un reducido número de suministradores externos.

Además, muchos de los grandes proyectos energéticos emprendidos sobre todo durante los años 70 y comienzos de los 80, se llevaron a cabo bajo la forma de inversiones "llave en mano" con el contratista extranjero, lo que limitaba la contribución al desarrollo de una capacidad tecnológica endógena.

Con relación a los **factores internos** que agravan el entorno de vulnerabilidad tecnológica, crisis energética y deterioro ambiental, cabe mencionar las limitaciones institucionales en el diseño de políticas energéticas, tecnológicas y ambientales; los irracionales patrones de distribución del ingreso y el consumo dilapidador de las élites de poder en los países subdesarrollados, entre otros. En estos países, las élites locales representan alrededor del 10-15% de la población, pero absorben una porción significativa de la energía comercial consumida en los respectivos países **(WRI, 1987: 9)**.

Algunos de los problemas institucionales que con mayor frecuencia afectan el

desempeño del sector energético en los países subdesarrollados son la indefinición de responsabilidades en cuanto a la política energética entre diversas instituciones, que suelen tener intereses divergentes; debilidad institucional en lo relacionado con las capacidades de entrenamiento de la fuerza de trabajo local; y preferencia de ciertas autoridades energéticas por las tecnologías importadas de países desarrollados, con relación a las tecnologías desarrolladas por institutos locales de I-D.

Adicionalmente, la actual ola de desregulación y privatización de los sectores energéticos en los países subdesarrollados se ha traducido en muchos casos en un desestímulo para nuevos programas de energía sostenible, y en el abandono de los modestos esfuerzos anteriores dirigidos a incrementar la eficiencia energética y fomentar las fuentes renovables de energía; o que a su vez ha tenido un enorme costo ecológico.

Resultaría extremadamente difícil, y a muchos efectos carente de valor académico, mantener el análisis del entorno de subdesarrollo tecnológico, crisis energética y deterioro ambiental y del grado de ajuste de las economías subdesarrolladas a los patrones del nuevo paradigma energético en una perspectiva general, que abarque a todos los países incluidos comúnmente en la categoría de subdesarrollados.

Si bien la mayoría de estas naciones muestran problemas socioeconómicos y energéticos similares, un análisis más riguroso en las direcciones antes apuntadas obligaría a distinguir las diferencias existentes entre subgrupos de países como las llamadas nuevas economías industrializadas (NIEs) del sudeste asiático, los países exportadores netos de petróleo, los países de menor desarrollo, entre otros. Por tal razón, en la medida en que se cuente con información, se tratará de desagregar los datos correspondientes al área subdesarrollada, por grupos de países afines.

Uno de los factores más evidentes de diferenciación en materia energética en el área subdesarrollada es la muy desigual dotación de recursos energéticos en los distintos países. Considerada en su conjunto, el área subdesarrollada cuenta con un enorme potencial de tales recursos, tanto renovables como no renovables, que incluye alrededor del 85% de las reservas probadas de petróleo en el mundo, casi la mitad de

las reservas de gas natural, y un considerable potencial hidroenergético y de otras fuentes renovables; sin embargo, estos recursos están muy desigualmente distribuidos, de tal forma que la mayoría de los países subdesarrollados son clasificados como importadores netos de energía.

El análisis de la dotación de recursos energéticos de cada país resulta de gran utilidad a la hora examinar la dinámica del ajuste de distintos subgrupos de países subdesarrollados a los patrones del nuevo paradigma energético, como se apreciará a continuación.

5.2. Sustitución energética y fomento de fuentes renovables

Durante el período de altos precios del petróleo (1973-85) en el área subdesarrollada se apreciaron ciertos esfuerzos por desarrollar las reservas petroleras propias, fomentar las fuentes energéticas alternativas y, en menor grado, por aumentar la eficiencia energética.

Sin embargo, los programas diseñados con tales fines sólo se materializaron en un reducido número de países, particularmente aquellos de mayor desarrollo económico relativo o que resultaron atractivos para las estrategias de las empresas energéticas extranjeras. En casi todos los casos en que dichos esfuerzos se tradujeron en resultados significativos, las acciones emprendidas tuvieron como contrapartida crecientes niveles de endeudamiento externo.

5.2.1. Alcance de la sustitución de petróleo por grupos de países y regiones

Durante el período de elevados precios internacionales de los hidrocarburos (1973-85), los países importadores netos de energía, como Brasil, la India y las NIEs asiáticas, tenían como objetivo reducir la dependencia del petróleo importado y dedicaron especial atención tanto a la explotación de las reservas nacionales de petróleo (Brasil e India), como a los programas energéticos alternativos; mientras que para los exportadores de petróleo no miembros de la OPEP, como México, Egipto, Malasia, Angola, Camerún, Omán y otros, el propósito fundamental era incrementar los márgenes de exportación petrolera, y con tales fines priorizaron las inversiones

dirigidas a incrementar la capacidad de producción de crudo.

Para el conjunto de los países subdesarrollados, la participación del petróleo en el balance de energía comercial cayó en 8 puntos porcentuales (pasó de 63% a 55%), entre 1973 y 1985, como resultado del proceso sustitutivo. En estos años, la participación del gas ganó 4 puntos (de 10% a 14%), mientras que el aporte del carbón y de la electricidad de origen nuclear e hidráulico aumentó en dos puntos, para cada caso (**ver Anexo IV.1**).

No obstante, estas cifras integradas ocultan la situación de subgrupos específicos de países, como los miembros de la OPEP, donde la composición del balance de energía comercial prácticamente no cambió en 1973-85.

En el caso de los países subdesarrollados no miembros de la OPEP, que absorbían el 77% de la energía comercial consumida por todo el Tercer Mundo en 1985, la parte del petróleo cayó en 10 puntos porcentuales en 1973-85 (pasó de 62% a 52%), que fueron ganados por el carbón (5 puntos), el gas (3 puntos) y la electricidad de origen nuclear e hidráulico (2 puntos).

Esta tendencia hacia la sustitución de petróleo, refleja ante todo los esfuerzos realizados en esta dirección por unos pocos países de mayor desarrollo relativo, como Brasil y las NIEs del sudeste asiático. Algunos países de bajo nivel de desarrollo, como Paraguay, Zambia, Uruguay, Filipinas, Kenya, Tanzania y Sri Lanka, entre otros, también lograron reducir considerablemente el aporte de los combustibles fósiles en su balance de energía comercial entre 1973 y 1993, pero dadas las pequeñas dimensiones de estas economías, sus patrones energéticos tienen poco peso en los indicadores agregados para el conjunto de los países subdesarrollados.

En el caso brasileño, la parte del petróleo en la demanda de energía comercial cayó en 20 puntos entre 1973 y 1988 (pasó de 71% a 51%) y la parte de las importaciones netas de petróleo en el consumo total de energía, también disminuyó de 61% a 24% en igual período. El componente más dinámico del balance energético fue la hidroelectricidad que aumentó su aporte de 24% a 38%, debido a las grandes inversiones llevadas a cabo en este período en este subsector (**IEA, 1989**).

En Corea del Sur y Taiwan también se apreció una notable reducción en el

aporte del petróleo en el balance de energía comercial entre 1973 y 1988 (pasó de 64% a 49%, y de 69% a 51%, respectivamente); al tiempo que la participación de la energía nuclear mostró un acelerado crecimiento (de 0% a 12% y de 0 a 16%, respectivamente) (IEA, 1989). A finales de los años 80 la energía nuclear cubría cerca del 47% de la electricidad generada en Corea del Sur y 41% de la de Taiwan, frente a un aporte del 17% de esta fuente a nivel internacional (IAEA, 1989: 7).

Durante el período 1985-94, el único cambio de significación en el balance de energía comercial de los países subdesarrollados fue el aumento en 4 puntos del gas (de 14% a 18%), a costa de las restantes fuentes. Este cambio se explica, básicamente, por la marcada sustitución de petróleo por gas en los países de la OPEP en estos años (el petróleo pasó de 66% a 56%, mientras que el gas pasó de 31% a 41%).

En efecto, en condiciones de bajos precios internacionales del petróleo, los exportadores de crudo han tratado de compensar las pérdidas por la vía del aumento del volumen exportado, lo que se logra en gran medida mediante cambios en la composición de la demanda interna que permitan liberar una proporción mayor de petróleo para la exportación.

Por su parte la estructura de la demanda de energía comercial de los países subdesarrollados no-OPEP prácticamente no cambió en 1985-94, como expresión del poco estímulo para la sustitución petrolera en condiciones de bajos precios de los hidrocarburos.

Debe tenerse en cuenta que la información general, referida a los países subdesarrollados no miembros de la OPEP, aún incluye patrones y tendencias muy diferentes, que no siempre se pueden desagregar con los datos disponibles.

En este grupo se incluyen, de un lado, los exportadores netos de petróleo no miembros de la OPEP, como México, Egipto, Malasia, Omán, etc., con patrones que tienden a acercarse a los de la OPEP. De otro lado, también se incluye a los importadores netos de hidrocarburos, que de por sí es un subgrupo sumamente heterogéneo. En este segundo subgrupo debe tomarse en consideración, por ejemplo, que grandes países como China y la India, dependen básicamente del consumo de

carbón como fuente de energía comercial (en un 76% y 57%, respectivamente, en 1996), a diferencia de la mayoría de los restantes países.

El análisis de las distintas regiones del Tercer Mundo revela que América Latina fue la región subdesarrollada que más avanzó en el proceso de sustitución petrolera. En efecto, la parte del petróleo en el balance latinoamericano de energía primaria cayó de 78% a 60% entre 1971 y 1993; al tiempo que la participación petrolera en la generación de electricidad de estos países disminuyó de 33% a 9%, debido básicamente a los progresos en materia de aprovechamiento de la hidroelectricidad (ver tabla T5.2).

Tabla T5.2

Balance de energía primaria comercial en América Latina, 1971-93 (en %)

Fuentes energéticas	1971 E. Comercial	1993 E. Comercial	1971 Electricidad	1993 Electricidad
Sólidos (carbón)	4.7	5.9	3.6	2.2
Petróleo	77.6	60.2	33.1	9.4
Gas	13.2	20.1	8.4	8.7
Nuclear	0.0	0.7	0.0	1.5
Hidroenergía	4.4	12.9	54.8	78.1
Geotermia y otras	0.0	0.3	0.0	0.2
Total	100	100	100	100

Fuente: IEA (1996b: 254)

En las naciones del Este de Asia, si bien la caída del petróleo en la composición del balance energético (de 62% en 1971 a 58% en 1993) fue mucho menos pronunciada que en Latinoamérica; en la generación de electricidad se registró un marcado proceso de sustitución energética, donde el petróleo perdió unos 27 puntos porcentuales de participación (pasó de 54.9% a 27.6%), que fueron ganados preferentemente por la energía nuclear, el carbón y el gas. La hidroenergía mostró un notable retroceso en la producción de electricidad de estos países, al reducirse su aporte de 31.3% en 1971 a 14% en 1993.

En el balance energético del Medio Oriente, la contracción del aporte del petróleo desde 69.9% en 1971 hasta 63.6% en 1993, favoreció principalmente al gas natural, que aumentó su participación del 28.9% al 34.1%. Durante ese período la

electricidad generada a base de petróleo disminuyó en más de 26 puntos porcentuales (de 71.5% a 45.1%), mientras que el gas pasó de 14.9% a 41.1%.

El proceso de sustitución petrolera ha sido particularmente limitado en otras áreas subdesarrolladas como Africa, Asia Meridional y China. En Africa, la parte del petróleo en el balance energético pasó de 45.8% a 43% en 1971-93, con un aporte petrolero creciente en la generación eléctrica (de 11.6% a 18% en esos años); mientras que en China el petróleo ganó espacio tanto en el balance energético primario (de 16.9% a 19.7%) como en la generación de electricidad (de 6.7% a 8.7%).

En sentido general, persiste una fuerte dependencia de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) en el balance de energía comercial de los países subdesarrollados, con implicaciones ambientales adversas, sobre todo en lo referido al reforzamiento del efecto invernadero. Con la excepción de América Latina, donde estos combustibles representaban algo más del 86% del balance de energía primaria comercial en 1994; en las restantes áreas subdesarrolladas este tipo de combustibles absorbía más del 90% de los respectivos balances energéticos (ver tabla T5.3).

Tabla T5.3

Participación de combustibles fósiles en el balance de energía primaria comercial(*), 1994 (en %)

Regiones	Carbón	Petróleo	Gas	Total Fósiles
América Latina	5.9	60.2	20.1	86.2
Africa	36.0	43.1	17.6	96.7
Este de Asia	22.6	57.8	11.0	91.4
Sur de Asia	51.2	32.7	12.2	96.1
China	76.5	19.7	1.9	98.1
Medio Oriente	1.5	63.6	34.1	99.2

Nota: (*): No incluye los combustibles tradicionales de la biomasa

Fuente: IEA (1996b: 249-255)

A las afectaciones derivadas del predominio de los combustibles fósiles en la estructura del balance de energía primaria comercial, se añaden las implicaciones negativas asociadas al uso irracional de los combustibles tradicionales de la biomasa, por amplios sectores de la población de estos países. Entre 1971 y 1993 las emisiones de CO₂ de estas naciones aumentó a un ritmo promedio anual de 5.2%, frente a una

tasa de 0.8% en los países de la OCDE y de 0.9% en las economías en transición de Europa del Este y la ex-URSS (IEA, 1996b: 57).

Entre los programas de energía alternativa que se diseñaron en los años 70 se encuentran aquéllos orientados a la utilización de la **energía nuclear**. Desde comienzos de los años 50, como parte del auge experimentado por la industria nuclear a raíz de la Segunda Guerra Mundial, varios países subdesarrollados introdujeron programas de I-D para la utilización del potencial atómico en diversas áreas como la generación de electricidad, la agricultura, la industria y la medicina. Algunos de los países involucrados en proyectos de esta naturaleza fueron Argentina, Brasil, México, India, Israel, Corea del Sur, Egipto, Filipinas, Taiwan y Turquía.

5.2.2. El componente nuclear de la sustitución energética

A comienzos de los 70, ante la súbita elevación de los precios del petróleo, la nucleoelectricidad pasó a ser considerada como una forma de energía barata y un vehículo idóneo para la transferencia tecnológica Norte-Sur, lo que sirvió de argumento para el diseño de ambiciosos proyectos nucleares en el Tercer Mundo.

En la actualidad, el panorama de la energía nuclear en los países subdesarrollados es particularmente sombrío. Casi todos los programas de energía nuclear en estos países han sido recortados, reorientados o cancelados durante los años 80, por razones económicas, políticas o ambientales. En algunos casos, en que los programas de energía nuclear han estado vinculados a proyectos militares, el costo económico ha sido particularmente elevado.

De acuerdo con proyecciones de la Agencia Internacional de Energía Atómica (AIEA) realizadas en 1974, la capacidad instalada en plantas nucleares de países subdesarrollados alcanzaría en 1990 los 167 mil MW; sin embargo en 1993, la capacidad instalada para aprovechar este tipo de energía en esos países apenas totalizaba 18 mil MW (ver South, abril 1989; IEA, 1996b: 73).

Un caso que ilustra los tropiezos sufridos por este tipo de proyectos en las pasadas décadas es el de **Brasil**. En 1974, en momentos en que este país vivía el llamado "milagro económico", se formuló un ambicioso programa de energía nuclear ,

que tenía como contraparte a la R.F. Alemana. En virtud del acuerdo firmado, Alemania se responsabilizaba con el suministro de la tecnología nuclear (incluido el enriquecimiento del uranio y el procesamiento de los desechos) durante un período de 15 años.

Sin embargo, hacia finales de los años 70 el "milagro económico" brasileño se había desvanecido, y la deuda externa mostraba un crecimiento rampante. Además, la oposición interna a un proyecto nuclear de grandes proporciones cobró cada vez más fuerza, dada la existencia de un enorme potencial hidroeléctrico subutilizado en el país, y se acumularon serios problemas de mala administración, corrupción e incompetencia en la conducción del proyecto.

A finales de los años 70, el costo estimado por KW instalado se había duplicado con relación a los cálculos iniciales. La primera planta nuclear de Brasil fue puesta en operación en 1985, y la deuda externa del subsector nuclear alcanzaba los 2.6 mil millones de dólares a finales de los 80 (OLADE, 1988a: 57).

Sólo países con cierto desarrollo de su base industrial y con capacidad para desarrollar tecnologías propias, como Argentina, India, Corea del Sur y China, han mantenido sus programas nucleares. El programa nuclear sudcoreano, presentado como uno de los programas nucleares más exitosos a nivel internacional, se ha expandido de forma continua desde 1978, cuando entró en operación comercial la primera planta nuclear de este país. A comienzos de los años 90, Corea del Sur contaba con nueve plantas nucleares en operación y dos en construcción; además, tenía planes de aumentar la parte de la energía nuclear en la generación de electricidad hasta 50% a finales de la presente década.

Este programa ha sido dividido en tres etapas, según lo planificado por las autoridades coreanas, y tiene como objetivo básico el logro de la autosuficiencia en tecnologías nucleares con fines energéticos. Durante la primera etapa fueron construidas tres plantas bajo la modalidad de proyectos "llave en mano"; la segunda etapa incluyó seis nuevas unidades y priorizó las acciones dirigidas a aumentar la capacidad endógena del país en este tipo de tecnología; y la tercera etapa, iniciada con el presente decenio, considera la construcción de dos nuevas plantas, bajo

acuerdos en que los suministradores extranjeros han pasado a ser subcontratistas de los contratistas locales (Chung, 1990: 14).

En los últimos años sólo ocho países subdesarrollados (Argentina, Brasil, India, China, Corea del Sur, Pakistán, Taiwan y México) tenían reactores nucleares en operación; y se prevé que ningún otro país se una a este pequeño grupo en la próxima década. En general, los países subdesarrollados apenas cuentan con alrededor del 5% de la capacidad instalada para la generación de nucleoelectricidad en el mundo. La región en desarrollo que más ha avanzado en la utilización de la energía nuclear es Asia Oriental, donde este tipo de energía llegó a representar el 5.6% del balance de energía primaria comercial y 16.4% de la generación de electricidad en 1993 (IEA, 1996b: 250).

Entre los principales obstáculos para el desarrollo de las tecnologías nucleares con fines energéticos en los países subdesarrollados se encuentran las serias restricciones económicas que enfrenta la mayoría de estos países, lo que limita las posibilidades de este tipo de inversiones con alto costo inicial y largos períodos de maduración del proceso inversionista. A esto se suma la falta de personal calificado, tanto para la construcción como para las fases siguientes; la inadecuada infraestructura para ofrecer servicios de mantenimiento a las plantas; y el pequeño tamaño de las redes eléctricas en muchos de estos países, entre otras limitantes. La caída de los precios del petróleo a partir de 1986, tornó a la opción nuclear mucho menos atractiva.

Como se señala en el Capítulo III, el fomento de las fuentes energéticas renovables constituye una de los patrones fundamentales de la reestructuración energética sostenible; sin embargo el alcance de este proceso en los países del Tercer Mundo ha sido muy pobre.

5.2.3. Fomento de fuentes renovables

Si bien las estadísticas internacionales, referidas al balance energético total (energía comercial + tradicional), muestran una elevada participación de las energías renovables en el consumo energético de las economías subdesarrolladas estas cifras

deben ser analizadas con cierta cautela, debido a la utilización irracional e insustentable que se hace de la mayor parte de los combustibles tradicionales en estos países.

a) Alta dependencia de los combustibles tradicionales de la biomasa

Al revisar la composición del consumo per cápita de energía primaria en algunas regiones subdesarrolladas en 1990, se aprecia que en América Latina el 55% correspondía a los combustibles fósiles y el 22% a las fuentes tradicionales; en África Subsahariana, 42% a los combustibles fósiles y 52% a los tradicionales; y en Asia Meridional, 44% a los combustibles fósiles e igual proporción a los tradicionales (Goldemberg y Johansson, 1995: 12).

Cabe recordar que los **combustibles tradicionales de la biomasa** (leña, carbón vegetal, y residuos orgánicos), aportan la mayor parte entre las fuentes renovables, en términos de insumo de energía física. Como se mencionó en el Capítulo II, estos combustibles representan alrededor de un 35% de la energía consumida en los países subdesarrollados, aunque en las naciones más pobres (como Nepal, Botswana, Burkina Faso, Burundi, República Centroafricana, Chad, Etiopía, Lesotho, Liberia, Malawi, Mozambique, Somalia, Swazilandia, Tanzania y Uganda) esta proporción supera el 90%.

De acuerdo con algunas fuentes consultadas, la oferta de leña muestra marcados déficits en numerosos países subdesarrollados, especialmente en regiones como África Subsahariana. En muchas de estas zonas la leña es consumida a una tasa mayor que el ritmo de reproducción natural de este recurso, por lo que se considera que, en estos casos, la leña ha dejado de ser una fuente de energía renovable (ver WCED, 1987; y WRI, 1989). Además, el grado de aprovechamiento de la energía contenida en la leña suele ser extremadamente bajo; sólo se aprovecha entre 10% y 15% de la energía útil (Goldemberg y Johansson, 1995: 13).

En el presente, alrededor del 70% de la población de los países subdesarrollados utilizan leña como fuente energética, y sobre esta base podría decirse que este recurso sigue siendo el combustible más importante a escala

planetaria. Ante estas realidades, no debe resultar sorprendente que en los países subdesarrollados el 80% de toda la madera cortada se utiliza como combustible, mientras que en los países desarrollados esta proporción es inferior al 20% (WRI, 1996: 220-221).

De acuerdo con estimados de la FAO, en el año 1980 alrededor de 1300 millones de personas vivían en zonas con déficit de leña, y para el año 2000 unos 2400 millones de personas podrían residir en áreas con aguda escasez de este recurso (AT Source, marzo 1989: 3). Es decir, para finales de siglo, el déficit mundial de leña alcanzaría unos 960 millones de m³ anuales, lo que equivale a unos 240 millones de toneladas de petróleo/año; que implicaría costos adicionales de hasta 50 mil millones de dólares anuales (Njie, 1995: 37).

Entre los efectos ambientales adversos derivados del consumo irracional de los combustibles tradicionales de la biomasa, cabe recordar la erosión y empobrecimiento de los suelos, el consecuente deterioro de la producción agrícola, la obstrucción de presas y canales de irrigación y el avance de la desertificación en zonas áridas. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta la contribución de la deforestación al efecto invernadero, por la vía de la reducción de los sumideros de CO₂.

En lo relacionado con los daños a la salud humana, cabe apuntar que, entre otras cosas, suelen registrarse altos niveles de contaminación dentro de las viviendas, lo que provoca infecciones respiratorias, trastornos oculares y otras enfermedades.

Las medidas para corregir este serio problema energético-ambiental incluyen el fomento de bosques energéticos y los programas de reforestación, aunque el avance en estas direcciones ha sido extremadamente discreto. Algunos países como Corea del Sur y, en menor medida, China y la India han mostrado resultados positivos en este sentido. En China, a finales de 1993 se habían plantado unos 6 millones de hectáreas de bosques energéticos (Keyun, 1995: 78).

Adicionalmente, diversos estudios conceden especial atención al mejoramiento de las tecnologías para el uso de la leña, sobre todo en la cocción de alimentos, lo que ofrece amplias oportunidades técnicas. En este sentido, se destaca entre otras la experiencia de China, donde en 1993 existían unos 158 millones de viviendas rurales

(69% del total de esas viviendas) que contaban con estufas de una eficiencia calórica de más del 25%, es decir, 1.5 veces más eficientes que los viejos equipos (**ver Keyun, 1995: 76**).

En lo referido a las potencialidades de **otras fuentes energéticas renovables**, tales como hidroelectricidad y fuentes nuevas (energía solar, eólica, geotermia, etc.), y al grado de su utilización en países subdesarrollados, el alcance de los proyectos emprendidos ha sido en general muy restringido, lo que se traduce en una gran subutilización del potencial existente.

b) Fuentes nuevas y renovables

Uno de los problemas más preocupantes en algunas regiones subdesarrolladas es la falta de correspondencia entre la composición de las reservas energéticas y la estructura del balance energético. Así, por ejemplo, en América Latina, la hidroelectricidad representa las dos terceras partes de las reservas energéticas y sólo aporta algo más del 13% de la demanda de energía comercial; mientras que el petróleo, con apenas un 15% de las reservas energéticas latinoamericanas, suministra el 60% de la energía comercial consumida en la región (**OLADE, 1988; IEA, 1996b: 254**).

Entre los obstáculos que frenan la expansión de estas opciones energéticas en los países subdesarrollados se encuentran, además de las razones económicas y los bajos precios del petróleo después de 1986; la falta de personal calificado; las limitaciones institucionales (existencia de subsidios para el consumo de combustibles convencionales), y la falta de sistematización y registro de las experiencias en esta materia a nivel internacional. A pesar de estas dificultades, algunos países muestran ciertos avances en estas áreas, como se expone seguidamente.

Entre las fuentes renovables, exceptuando a los combustibles tradicionales de la biomasa, la **hidroenergía**, es la más explotada en los países subdesarrollados. En 1990 esta fuente representaba el 14% del consumo per cápita de energía primaria en América Latina, 5% en Asia Meridional y 4% en África Subsahariana (**Goldemberg y Johansson, 1995: 12**)

Alrededor de las dos terceras partes del potencial hidroeléctrico mundial se localiza en los países subdesarrollados, y se distribuye de la siguiente forma: Asia, 28%; América Latina, 20%; y África, 16%. Sin embargo, menos del 10% de este potencial se encuentra en explotación en la actualidad.

China cuenta con el mayor potencial hidroenergético del mundo, y en 1993 generaba a partir de este recurso el 18% de su electricidad. Entre las principales limitaciones para el aprovechamiento de la hidroenergía en China se encuentran la falta de fondos y el déficit de fuerza de trabajo en la parte occidental del país, que es donde se concentra la mayor parte del potencial hidroeléctrico. Estas restricciones han obligado a las autoridades chinas a posponer la construcción de grandes plantas hidroeléctricas en los últimos años.

Durante las tres décadas pasadas, en el aprovechamiento de la hidroenergía en los países subdesarrollados predominaron los proyectos en gran escala, con apoyo financiero y técnico externo. Una de las limitaciones fundamentales de este tipo de proyecto es su alto costo. Por ejemplo, la hidroeléctrica Aswan, construida en los años 60 en Egipto, tuvo un costo de 1500 millones de dólares; la de Itaipú, compartida por Brasil y Paraguay, costó alrededor de 6 mil millones; y el proyecto chino *Three Gorges* podría costar 20 mil millones de dólares. A las razones de índole económica (altos costos y largos períodos de maduración de las inversiones¹) se suman los adversos impactos ambientales (inundaciones) y sociales (desplazamientos humanos).

Ante estas realidades, los proyectos hidroeléctricos en pequeña escala, que tienen menores costos sociales y ambientales, han resultado más atractivos en los últimos años, sobre todo para atender las necesidades de poblaciones que viven en zonas aisladas.

China ha sido uno de los países subdesarrollados que más ha avanzado en esta dirección, y tiene perspectivas de elevar la capacidad de estas instalaciones hasta unos 25 mil MW en el año 2000, en comparación con alrededor de 9 mil MW de capacidad instalada a mediados de los años 80 y 15 mil MW en 1993. Entre otros incentivos, el gobierno chino ofrece subsidios y créditos blandos, para estimular el

¹ El período promedio de maduración de este tipo de inversión es de 7 a 10 años (WRI, 1994: 174).

aprovechamiento del potencial hidroenergético en pequeña escala (**ver Wirtshafter y Shih, 1990; Gan, 1990; y Keyun, 1995**).

Los esfuerzos más notables en el aprovechamiento de la hidroenergía, en países subdesarrollados, se concentran básicamente en América Latina. En efecto, la participación de la hidroelectricidad en el balance regional de energía primaria aumentó de 4.4% en 1971 a 12.9% en 1993; y el aporte de esta fuente a la generación eléctrica se incrementó de 54.8% a 78.1% en ese período. Como resultado de este proceso de sustitución de combustibles fósiles por hidroenergía, en 1992 por cada KW/h generado en la región se producía un 37% menos de CO₂ que en 1970 (**ver IEA, 1996b: 254; y Gutiérrez, 1994: 54**).

La información agregada para Asia y África muestra que la participación de la hidroenergía en la generación de electricidad se deterioró considerablemente entre 1971 y 1993 en esas regiones; particularmente en los países de Asia Meridional, donde el aporte cayó de 43% a 23% en esos años.

En total las fuentes nuevas representaban en 1990 el 8% del consumo per cápita de energía primaria en América Latina, 7% en Asia Meridional y 2% en África Subsahariana (**Goldemberg y Johansson, 1995: 12**). En términos más agregados, estas fuentes representaban en 1990 un 3% del consumo energético de las naciones subdesarrolladas (**Goldemberg, 1995: 1**).

Según las tendencias actuales y previsibles, las nuevas tecnologías energéticas se van integrando a los sistemas energéticos bajo un nuevo enfoque en términos de **dispersión** vs. redes centralizadas, **pequeña escala** vs. gran escala y **distintas formas de propiedad** vs. propiedad únicamente estatal. En esta área también se promueven proyectos de gran escala, como los referidos a la utilización intensiva de la biomasa.

Con relación al potencial de **energía eólica** en los países subdesarrollados, cabe señalar que se ha reportado la existencia de recursos con posibilidades de utilización a escala comercial en China, el litoral Occidental de América del Sur (Chile, Perú y Ecuador), Marruecos y otras naciones del noroeste africano, Egipto y numerosas islas del Caribe y del Mediterráneo. La posibilidad de aprovechar este

potencial se ha ampliado considerablemente con la reducción del costo de este tipo de energía en un 66%, durante la pasada década (WRI, 1994: 174).

Hasta el momento los proyectos más ambiciosos para la explotación de estos recursos en el Tercer Mundo se ubican en China y la India; aunque, en general, para el conjunto de los países subdesarrollados, la explotación de estas potencialidades ha sido muy baja. En 1993 China contaba con 119 mil pequeños generadores eólicos, con una capacidad instalada de 17 MW (Keyun, 1995: 79).

Por su parte, la India disponía a mediados de los años 90 de unas 250 turbinas eólicas, instaladas en 12 localidades y con una capacidad de más de 45 MW. El gobierno de este último país, tiene planes de elevar hasta 3,000 MW la capacidad de generación eólica para el 2000, considerando la existencia de potencial técnicamente aprovechable de 20,000-40,000 MW. Además de la escasez de capital y de mano de obra calificada, uno de los principales obstáculos para la utilización de esta fuente energética en la India ha sido la limitada capacidad interna para producir aerogeneradores (ver WRI, 1994: 178).

En cuanto a la **energía geotérmica**, se han identificado potencialidades significativas en países como Filipinas, Indonesia, Tailandia, México, China, Turquía, península arábiga, Corea, Taiwan, Kenia, Tanzania, Perú, Chile y Centroamérica. Ya a mediados de los 80 a los países subdesarrollados les correspondía alrededor del 40% de la capacidad total instalada para este tipo de energía; y a mediados de los 90, entre los principales productores de electricidad de origen geotérmico, después de EE.UU., se ubicaban Filipinas (1053 MW) y México (753 MW).

La **energía solar** también ofrece amplias oportunidades a los países subdesarrollados, en su modalidad fototérmica o mediante el empleo de módulos fotovoltaicos, pero el aprovechamiento de estas posibilidades también ha sido escaso.

En los últimos años se ha promovido la utilización de la energía solar en zonas aisladas del Tercer Mundo, aunque existen ciertas restricciones derivadas de los altos costos de capital y la complejidad tecnológica de los módulos más sofisticados, lo que impide una difusión más amplia de estas tecnologías. A comienzos de la presente década solo Brasil y la India tenían capacidad para fabricar módulos fotovoltaicos.

En la India, país que cuenta con un promedio de 290 días soleados al año, se ha declarado a la energía solar como una fuente vital para el futuro. A finales de los años 80 en la India existían 150 productores de sistemas solares con objetivos bien definidos, que incluían el establecimiento de normas nacionales para las nuevas tecnologías y la posterior expansión de las ventas en los mercados internacionales. Además, funcionaban unos 115 proyectos de aldeas energéticas integradas, basadas en un conjunto de tecnologías que permiten el aprovechamiento de los recursos energéticos localmente disponibles, tales como biogas, energía solar y eólica. Más de 2000 aldeas indias cuentan con sistemas fotovoltaicos (**ver Hart, 1989**).

La producción de **biogas**, a partir de desechos orgánicos, también ha sido promovida en algunos países subdesarrollados en las últimas dos décadas, como portador energético derivado de la biomasa. En China, el desarrollo y difusión de las tecnologías para la utilización del biogas datan de hace más de 50 años, aunque los mayores progresos se han registrado en los últimos dos decenios.

En 1993, en China existían 5.25 millones de digestores domésticos, principalmente en las provincias meridionales; además de numerosos digestores grandes o medianos, ubicados en fábricas de alimentos y en granjas de ganado porcino o vacuno. En este país también han proliferado los llamados sistemas “cuatro en uno”, que combinan la producción de biogas, la crianza de aves o cerdos, la producción de frutas y vegetales y la obtención de fertilizantes (**ver Daxiong, et. al., 1990; y Keyun, 1995**). La tecnología para el aprovechamiento del biogas en China beneficia en la actualidad a más de 25 millones de personas y está apoyada por un amplio programa de investigación.

Uno de los proyectos de mayor alcance en cuanto a la utilización de la biomasa con fines energéticos es el programa brasileño conocido como **Proalcool**. Este programa, el mayor a nivel mundial para la producción de alcohol combustible, fue puesto en marcha en 1975 y ha cumplido tanto con sus objetivos técnicos como con los propósitos referidos a la reducción de las importaciones petroleras y al apoyo a otros fines sociales.

En efecto, este programa ha generado nuevos empleos (casi 700 mil), ha

estimulado el desarrollo rural y ha reducido la vulnerabilidad energética del país. En 1989, la producción de etanol alcanzó 12 millones de m³ anuales y se ha mantenido en torno a ese nivel **(De Carvalho, 1995: 107)**.

Entre los factores que han contribuido al éxito de este programa cabe mencionar la capacidad tecnológica existente en el país, la abundancia de tierra y un clima favorable para el cultivo de la caña, el establecimiento de incentivos financieros para los productores de alcohol y de altos impuestos sobre la gasolina, y la realización de algunas experiencias previas para la producción de alcohol en pequeña escala.

En las condiciones de bajos precios del petróleo, vigentes desde 1986, el mantenimiento de este programa ha representado una elevada carga fiscal para el país, y al igual que otros proyectos energéticos alternativos de países subdesarrollados ha visto en peligro su rentabilidad.

Algunos estudios recientes se refieren a las potencialidades existentes a nivel internacional, especialmente en los países subdesarrollados para emprender proyectos para la utilización de la biomasa con fines energéticos a gran escala y sobre bases sostenibles. Un reporte preparado para la CNUMAD (Brasil/92) ("Escenario Energético Global Intensivo en Fuentes Renovables"- RIGES), estima que la biomasa podría aportar el 35% de la demanda total de energía primaria en el año 2050 **(Larsson y Williams, 1995)**.

Estos estimados se basan en pronósticos alentadores en relación con el desarrollo, en un futuro próximo, de nuevas tecnologías en esta área. Así, por ejemplo, se prevé que para el año 2000 estarían disponibles en el mercado tecnologías para la generación de electricidad a partir de la biomasa a escalas de 20 a 150 MWe (sistemas de gasificación y de turbinas de gas), que competirían con las fuentes convencionales. Los avances tecnológicos que se esperan en esta área han sido comparados con las innovaciones tecnológicas que permitieron a finales del Siglo XIX la expansión de los combustibles fósiles (turbina de vapor y motor de combustión interna).

Para tales fines, se propone la utilización de tierras degradadas, que no competirían con la producción de alimentos, y que serían rehabilitadas con capitales

de las industrias energéticas interesadas. Estos proyectos, sin embargo, tendrán que enfrentar algunos retos, relacionados con el manejo de los suelos, complejos sistemas de propiedad de la tierra, déficit de infraestructura para el transporte requerido por estas inversiones, entre otros.

5.3. Ahorro y conservación energética

La experiencia histórica de los países desarrollados muestra que durante las fases de creación de la infraestructura para el desarrollo industrial, el consumo de energía comercial tiende a crecer más rápido que el PIB, ya que las industrias que se fomentan en esos períodos suelen ser intensivas en energía, como son los casos de las industrias de materiales de la construcción (acero, cemento, etc.). Además, la mecanización de la agricultura y la adopción de programas socioeconómicos, dirigidos a cubrir ciertas necesidades humanas básicas, también tienden a incrementar el consumo de energía comercial.

En estas fases del desarrollo, el uso ineficiente de los combustibles tradicionales de la biomasa, tiende a ser sustituido por la utilización de portadores energéticos más modernos, como la electricidad, los combustibles líquidos, gaseosos y otros. En los EE.UU., por ejemplo, el paso de una economía eminentemente agraria a una basada en la industria pesada implicó un rápido crecimiento de la intensidad energética comercial entre 1880 y comienzos de los años 20.

El **sector industrial**, caracterizado por su elevada intensidad energética, mantiene un peso preponderante (49% en 1993) en la estructura de la demanda energética final de los países subdesarrollados; a diferencia de los países de la OCDE, donde la participación de la industria en el consumo de energía ha registrado una marcada caída desde 1960 (**ver tabla T5.4**).

Diversos especialistas energéticos han demostrado que la participación del sector industrial en el consumo final de energía tiende a incrementarse en la medida en que aumenta el ingreso per cápita, hasta alcanzar cierto punto (alrededor de 40% de la demanda energética final, de acuerdo con las tendencias históricas) a partir del cual dicha proporción comienza a disminuir. En efecto, la parte de la industria en la

demanda energética total final de los países de la OCDE comenzó a declinar en los años 60 del presente siglo, luego de registrar una participación del 40% (ver IEA, 1996b: 40).

Tabla T5.4

Participación sectorial en la demanda final de energía 1993 (en %)

Sectores	OCDE	Países subdesarrollados
Industria	32	49
Residencial	30	20
Transporte	33	23
Otros	5	8
Total	100	100

Fuente: IEA (1996b: 37).

En América Latina, donde el sector industrial absorbe el 31% del consumo regional de energía final, la intensidad energética en 1992 mostró un incremento del 14% con relación a 1980 y de 9% con respecto a 1970; y se estima que una parte significativa de este aumento se explica por el deterioro de la eficiencia energética en ese sector ya que las ramas energointensivas (acero, cemento, papel-celulosa, y fertilizantes), lejos de incrementar sus niveles productivos, experimentaron un notable retroceso en sus niveles de actividad durante los años 80 y comienzos de los 90 (Gutiérrez, 1994: 48).

En cuanto a la evolución tendencial del consumo energético del sector residencial, los países subdesarrollados también han mostrado mayor dinamismo que las naciones industrializadas desde comienzos de los 70. En general, se ha observado una fuerte relación entre los requerimientos energéticos per cápita en este sector y el PIB por habitante, con cierta tendencia hacia la saturación para niveles de PIB per cápita superiores a los 1000 dólares anuales. Algunas variables demográficas, como la dinámica poblacional y el grado de urbanización, también inciden en el comportamiento de los indicadores energéticos del sector residencial. En la región latinoamericana el consumo residencial/comercial por habitante aumentó en un 64.5% entre 1970 y 1990 (Suárez, 1994: 70).

La creciente urbanización e industrialización también incrementan

significativamente los requerimientos del **sector transporte**, tanto de carga como de pasajeros. Entre 1971 y 1993 el crecimiento del consumo energético del sector de transporte en los países subdesarrollados superó en más de dos veces al de la OCDE; aunque los países industrializados mantienen niveles de demanda energética per cápita en este sector muy superiores a los de naciones subdesarrolladas [1.04 toneladas de petróleo equivalente (TPE) vs. 0.09 TPE, respectivamente en 1993] (IEA, 1996b: 46).

Los elevados niveles de intensidad energética en sector de transporte de los países subdesarrollados se deben, entre otras razones, a la antigüedad y mantenimiento inadecuado del parque automotor, deficiencias de infraestructura vial, limitaciones de los sistemas de gestión del tránsito, y la persistencia de rutas de tráfico muy extensas en las grandes zonas urbanas.

En América Latina, al igual que en muchas otras naciones en desarrollo se ha privilegiado el desarrollo del transporte individual y el consumo de derivados del petróleo, que en 1992 representaron el 94% del consumo final sectorial de energía. La participación del transporte en el consumo final de energía se incrementó de 25.8% en 1970 a 32.2% en 1990, y pudiera aproximarse a 35% en el año 2010 (Suárez, 1994: 72)

Partiendo de las consideraciones anteriores, un punto clave de debate en los estudios sectoriales y regionales sobre demanda energética son las consideraciones acerca de la posibilidad de que los países de menor desarrollo eludan los patrones de industrialización seguidos por las naciones desarrolladas.

El reto para los países subdesarrollados, en las actuales condiciones es avanzar en el logro de un desarrollo socioeconómico con un uso eficiente de los recursos energéticos; pero hasta el momento no se han registrado progresos notables en estas direcciones. En el período de altos precios del petróleo 1973-85, mientras los países industrializados redujeron la intensidad energética comercial en un 26%, en las naciones subdesarrolladas no miembros de la OPEP este indicador creció en más de 14%, y en el caso de los países de la OPEP, aumentó en más de dos veces.

Durante 1985-94, al tiempo que en los países de la OCDE continuó la

tendencia decreciente en la intensidad energética comercial, aunque en menor grado que en 1973-85; en las naciones subdesarrolladas no miembros de la OPEP se registró un aumento de casi 5% y en los países de la OPEP un incremento del 28% (ver Anexo IV.1).

Con relación a la intensidad de energía comercial, puede decirse que en los países subdesarrollados la tendencia creciente de este indicador muestra, de un lado, un patrón que se ajusta a las fases iniciales del desarrollo socioeconómico, y de otro lado, el uso ineficiente de estos portadores energéticos debido, entre otros factores, a la vulnerabilidad financiera y tecnológica que afecta a estos países. En lo referente al atraso tecnológico del sector energético en las naciones subdesarrolladas, cabe mencionar, por ejemplo, que las plantas eléctricas en estos países consumen, como promedio, de 15% a 30% más combustible por unidad de electricidad generada que las plantas de países desarrollados (WRI, 1994: 171).

Entre los países en desarrollo, el mayor avance en la reducción de la intensidad energética, por la vía del aumento de la eficiencia en el uso de la energía, se ha registrado en países como China y las NIEs del sudeste asiático.

En China, la intensidad energética ha disminuido de forma notable desde la puesta en marcha de las reformas económicas a partir de 1978, debido a la combinación de diversos factores como cambios en la estructura económica a favor de industrias ligeras y otras actividades, como los servicios, menos intensivas en energía; adopción de políticas de conservación energética, que incluyen regulaciones y un mejoramiento en la administración de la demanda energética; e introducción de nuevas innovaciones técnicas. Entre 1973 y 1994 la intensidad energética en China cayó en 45.8%; no obstante, todavía en 1994 este país consumía 3.5 veces más energía por unidad de PIB que Corea del Sur, con una estructura económica similar (IEA, 1996a).

En Corea del Sur y Taiwan, las medidas dirigidas a reducir la intensidad energética comenzaron a madurar en el decenio de los años 80. Entre 1973 y 1994 este indicador disminuyó en casi 9% en Corea del Sur.

En Brasil, si funcionan adecuadamente las medidas de conservación

energética, diseñadas para el período 1991-2010, se liberarían recursos por un monto de 85 mil millones de dólares en esos años, que pudieran utilizarse en otros sectores básicos (ver Martins y González, 1995: 10-11).

Según fuentes especializadas, uno de los programas nacionales más exitosos, en materia de conservación energética en países subdesarrollados, es el Programa de Conservación de Electricidad (PROCEL) de Brasil, que fue puesto en marcha en 1985 e incluye actividades de I-D, educación, promoción, instalación de equipos eficientes, desarrollo de normas y regulaciones, incentivos y proyectos conjuntos. Este programa ha sido patrocinado por la empresa paraestatal Electrobras, y durante sus cinco primeros años de actividad administró un capital semilla ascendente a 20 millones de dólares de inversión, distribuidos entre 150 proyectos.

Los ahorros directos derivados del PROCEL ascendían a unos 1200 GWh anuales hasta 1993, lo que equivale a una potencia de 200 MW, y por tanto evitó inversiones ascendentes a 400 millones de dólares. Aunque este programa ha sufrido recortes presupuestarios durante los años 90, se ha mantenido el énfasis en las medidas dirigidas a incrementar la eficiencia energética (WRI, 1994: 177).

Cuando a la intensidad de energía comercial (información más difundida) se incorpora la intensidad energética derivada del uso de combustibles tradicionales de la biomasa, el indicador resultante (intensidad energética total) muestra niveles muy elevados para el Tercer Mundo.

Según cifras estimadas para 1995, la intensidad de energía comercial (IEC) para el conjunto de los países subdesarrollados no miembros de la OPEP era de 2.93 BPE/1000 dólares de PIB (en dólares de 1990) y la intensidad energética total (IET) era de 4.39 BPE/1000 dólares de PIB. Esta diferencia entre la IEC y la IET se torna más marcada en las naciones de bajos ingresos, como muestra el **Anexo V.1**.

Para el caso de la región latinoamericana, la evolución más reciente (desde 1970) y previsible (hasta el año 2010) muestra que la intensidad energética total ha tendido a disminuir como resultado de la sustitución de combustibles tradicionales de la biomasa, utilizados de forma ineficiente, por combustibles comerciales; sin embargo, la intensidad de energía comercial muestra una tendencia creciente; lo que

constituye un patrón general para los países subdesarrollados, como se explicó con anterioridad.

Entre los factores que limitan las posibilidades de la mayoría de los países subdesarrollados para reducir la intensidad energética total se encuentran: las restricciones financieras y tecnológicas; predominio de políticas energéticas con sesgo ofertista (*supply side approach*) en estos países, es decir, falta de un enfoque integral del sector energético, que considere el lado de la demanda y todas las fuentes; falta de información con relación a las oportunidades de conservación; y distorsión de los precios de la energía (subsidios a combustibles convencionales); entre otros.

En lo referente al sesgo ofertista, que ha predominado en las políticas energéticas de los países subdesarrollados, cabe apuntar, por ejemplo, que entre 1972 y 1990 más del 90% del financiamiento energético proveniente de las agencias multilaterales y bilaterales de desarrollo hacia América Latina se destinó a proyectos de generación energética en gran escala y sólo un 1% a proyectos vinculados con el mejoramiento de la eficiencia energética (CEPAL, 1991: 86)

De mantenerse las tendencias actuales, la demanda de energía comercial de las naciones subdesarrolladas podría triplicarse en los próximos treinta años, de tal forma que la participación de estos países en el consumo mundial de energía comercial pasaría de 26% en 1991 a 40% en el 2020.

Según cálculos realizados a finales de los años 80, se requerirían fondos ascendentes a 1.7-4 billones de dólares para financiar las necesidades energéticas de países subdesarrollados en un plazo de veinte años, considerando invariables los niveles existentes de eficiencia energética. Tales cálculos suponen una tasa de inversión en sector que supera en 1.5-4 veces los niveles actuales (WRI, 1994: 171).

En la región latinoamericana, las proyecciones de la oferta y de equipamiento necesario para abastecer la demanda energética de las próximas décadas revelan que los requerimientos totales de inversión serían de 318 mil millones de dólares para 1990-2000 y de 453 mil millones de dólares en la primera década del siglo XXI (Gutiérrez, 1994: 52).

Los pronósticos acerca del dinamismo de la demanda energética en las

naciones subdesarrolladas durante las próximas décadas se explican, en gran medida, por la actividad económica previsible en estas regiones, así como las altas tasas de crecimiento poblacional y de urbanización esperadas. En este sentido, se prevé que la población urbana de estos países continúe creciendo a una tasa mucho más rápida que la población total, con impactos significativos sobre ciertos segmentos como la demanda del sector de transporte y los requerimientos de electrificación.

Además de la creciente industrialización que está teniendo lugar en diversas regiones subdesarrolladas, se prevé que en las próximas décadas continúe la reubicación o traslado de industrias pesadas, radicadas originalmente en países de la OCDE, hacia países de menor desarrollo. Consecuentemente, la parte de las naciones del Tercer Mundo en la demanda energética mundial del sector industrial pasaría de 38% en 1993 a casi 50% en los próximos decenios (ver IEA, 1996b).

No obstante, se ha estimado que alrededor de un 25% de la energía utilizada en los países subdesarrollados podría ahorrarse con inversiones que se autofinancian en dos años o menos. Además se considera que la adopción tecnologías energéticas eficientes en las próximas décadas, reduciría el crecimiento de la demanda en tal grado que los requerimientos de capital de las naciones subdesarrolladas podrían contraerse en un 50% (ver WRI, 1994).

Para los países latinoamericanos, se estima que los ahorros de corto y mediano plazo, en lo referido a los derivados del petróleo y a la energía eléctrica, podrían representar 15%-20% y 10%-15% del consumo final de estos energéticos, respectivamente. En el sector industrial de América Latina, además de contarse con un potencial de cogeneración de unos 47,000 MW, se ha identificado un potencial de ahorro significativo, tanto a corto como a más largo plazo, en ciertas ramas consideradas como energointensivas (ver Tabla T5.5).

En el caso del subsector eléctrico de América Latina, se estima que si se recuperara la cuarta parte de la capacidad de generación térmica que requiere rehabilitación y se redujera en dos puntos porcentuales el nivel de pérdidas² estimado para el año 2000, se podría evitar la instalación de nuevas capacidades de generación

² El nivel de pérdidas promedio para la región es de 17% y en algunos países asciende a 30% o más.

a nivel regional ascendentes a unos 6000 MW. Este esfuerzo se duplicaría si se lograra un ahorro del 5% en el consumo de electricidad para el año 2000; lo que se traduciría en una reducción del 20% en los requerimientos de capacidad instalada adicional para ese año.

Tabla T5.5
Ahorros potenciales en ramas industriales energointensivas de América Latina (en %)

Rama industrial	Corto plazo/baja inversión	Largo plazo/mayor inversión
Acero	5-7	5-13
Aluminio	2-4	10-15
Petróleo	7-12	15-25
Fertilizantes	2-5	20-25
Vidrio	10-12	15-20
Materiales de construcción	10-15	15-20
Cemento	10-20	10-30
Pulpa y papel	10-15	10-16
Alimentos	8-18	12-85
Textil	12-15	15-17

Fuente: Videla (1994: 348-349)

Por su parte, algunos de los autores que suscriben la concepción acerca del nuevo paradigma energético han expresado que los países subdesarrollados, en general, pudieran alcanzar un nivel de vida promedio similar al de Europa Occidental en los años 70 sin incrementar significativamente el consumo energético per cápita, tanto de fuentes comerciales como tradicionales. Sin embargo, este escenario, basado en la utilización de las tecnologías energéticas más eficientes existentes en el mercado, también requeriría gran cantidad de recursos financieros para su materialización, que no están disponibles en los países subdesarrollados (ver WRI, 1987).

En **resumen**, el análisis anterior referido al limitado alcance de los programas energéticos emprendidos por los países subdesarrollados en el contexto de un nuevo paradigma tecno-económico, contrasta con la situación de los países industrializados, sobre todo en lo relacionado con la evolución de la eficiencia energética.

Como señala Williams (1990: 17): *"The same oil crisis which led to a push for technological innovation in developed countries had precisely the opposite*

effect in many developing countries, where the push was more frequently for daily survival”.

Los mayores progresos en materia de energía sostenible en el área subdesarrollada se concentran en aquellos países cuyos gobiernos dieron un apoyo sustancial a los programas energéticos durante los años 70 y comienzos de los 80, tales como Brasil, Corea del Sur, China e India. Después de 1986, con el abaratamiento del petróleo en los mercados internacionales, los modestos avances logrados en cuanto al incremento de la eficiencia energética y el desarrollo de fuentes alternativas se han visto en peligro.

También se ha podido apreciar que bajo el nuevo paradigma energético se abren nuevas posibilidades para la creación de pequeñas empresas energéticas conectadas a la red o descentralizadas, dedicadas preferentemente al aprovechamiento de las fuentes energéticas “nuevas”. En las condiciones de crisis socioeconómica, ajuste estructural y privatización de servicios públicos, los nuevos actores que han aparecido en el escenario energético de los países subdesarrollados, además de las ya existentes entidades estatales, son los productores privados de energía, las compañías de servicios de las comunidades y organizaciones no gubernamentales (ONG).

Según algunos autores consultados acerca de las más recientes tendencias en el sector energético de los países subdesarrollados (Blanco, 1995), un eslabón importante del nuevo paradigma energético/ambiental es la **pequeña empresa energética** que funciona bajo cinco criterios básicos: innovación, integración, difusión, demostración/validación y beneficio ambiental:

- el criterio de **innovación** se refiere a la necesidad de un nuevo enfoque en relación con la producción, transporte y uso final de la energía, así como al requerimiento de un marco institucional y financiero innovativo;
- la **integración** apunta a la necesaria consideración de los aspectos técnicos, legales, institucionales y financieros, de forma integrada, como precondition para motivar a las fuentes locales de financiamiento y para penetrar los mercados;
- el criterio de **difusión** destaca la necesidad de apoyo de parte de los beneficiarios

potenciales y de las autoridades nacionales, a los efectos de potenciar la difusión nacional e internacional de los proyectos;

- la **demonstración/validación** hace énfasis en que los proyectos deben proponerse ser autosostenidos, es decir que a partir de un apoyo inicial deben ser capaces de convertirse en objetos de créditos de otras instituciones; y
- el **beneficio ambiental**, que se explica por sí mismo.

En todo caso el papel de estas pequeñas empresas energéticas sería complementario a la actividad de otras empresas o entidades de los gobiernos locales o centrales; y su operación, aunque de forma dispersa, debe ser compatible con los respectivos esquemas nacionales de fomento de este estratégico sector. De lo contrario, se corre el riesgo de dilapidar recursos y energías, sin posibilidades de dar una solución duradera a los serios problemas energéticos de los países en cuestión. También debe prestarse especial atención a las experiencias comunitarias exitosas en países como China y la India, donde algunas comunidades han devenido centros de desarrollo energético rural.

Capítulo VI

Potencialidades y limitaciones para una reestructuración energética sostenible en México

En México, donde el sector energético genera aproximadamente el 3% del PIB (1994) y emplea de forma directa a 225 mil personas (1995), el ajuste a los patrones del nuevo paradigma energético ha sido sumamente limitado. Los dos principales problemas estructurales del sector energético mexicano son la ineficiencia energética y la gran dependencia con respecto a los hidrocarburos.

En el caso de México, a las limitaciones financieras y tecnológicas comunes a otros países subdesarrollados, se suma su condición de país productor y exportador de petróleo, lo que explica, en gran medida, la elevada participación de los hidrocarburos en la composición del balance energético y el alto grado de intensidad en la utilización de la energía.

6.1. Sustitución energética y fomento de fuentes renovables

La necesidad de diversificación, como vía para alargar el horizonte de los recursos energéticos nacionales e iniciar una transición energética ordenada, ha sido un tema recurrente en todos los programas nacionales de energía del gobierno mexicano, a partir de 1980; sin embargo, la materialización de este objetivo ha enfrentado serios tropiezos.

Encabezado la lista de fracasos o tropiezos en este campo, cabe mencionar el fallido intento de poner en práctica un ambicioso programa nuclear, que pretendía la instalación masiva de reactores nucleares en México a partir de 1980, lo que resultaba muy difícil de justificar para un país con grandes reservas de hidrocarburos y de energía renovable.

La idea de instalar reactores de potencia en México fue concebida a mediados de los años 50, en medio del auge internacional de la industria nuclear promovido por importantes círculos gubernamentales y de negocios de EE.UU. y de otras potencias;

sin embargo, no es hasta finales de los 60 que se adopta la decisión de construir la primera planta nuclear en el país (Laguna Verde), cuyos trabajos de diseño e ingeniería se iniciaron en 1973, en el estado de Veracruz.

Con posterioridad, el primer ejercicio de planificación estatal energética de México (Programa de Energía de 1980) incorpora la idea de llevar a cabo un majestuoso programa nuclear, que pretendía elevar la capacidad de generación eléctrica a partir de esta fuente hasta unos 20 000 MWe en el año 2000. Teniendo en cuenta las tendencias internacionales en la industria nuclear a comienzos de los 80 y la realidad socioeconómica México, ese ambicioso objetivo, que fuera abandonado en 1982, fue calificado por especialistas mexicanos como un "absurdo técnico, económico, social y político" (ver Rojas, 1989).

La concepción, construcción y operación de Laguna Verde también ha sido blanco de severas críticas. En este sentido, Rojas (1989) señala que debió darse prioridad a la I-D nacional en el campo nuclear y energético en general, en lugar de emprender un proyecto de esta naturaleza bajo una modalidad de concurso internacional que reforzaba la dependencia del país con respecto a los suministradores extranjeros; y destaca, entre otros problemas, los errores cometidos durante el diseño y ejecución del proyecto; la significativa elevación de los costos con relación a las previsiones iniciales; el considerable retraso de los trabajos; y el carácter autoritario del proceso de toma de decisiones.

Así las cosas, en México, al igual que en otros países subdesarrollados, las expectativas exageradamente optimistas en torno a la energía nuclear, que se reforzaron durante los años 70 y comienzos de los 80, se disiparon con gran rapidez, ante las restricciones económicas de la "década perdida para el desarrollo" y los numerosos problemas acumulados por los proyectos nucleares en marcha. En la actualidad México sólo cuenta con la central nucleoelectrónica de Laguna Verde, que tiene dos unidades de 675 MW cada una; la primera entró en operación en 1990 y la segunda en 1995. En 1995 esta fuente energética aportó el 1% de la producción de energía primaria y el 5.9% de la generación bruta de electricidad.

En general, los esfuerzos dirigidos a diversificar las fuentes de energía, para reducir la dependencia de los hidrocarburos en México, han sido poco significativos, en relación con las potencialidades existentes. En el presente los combustibles fósiles aportan más del 90% de la producción total de energía y más del 70% de la generación bruta de electricidad, como muestra la **tabla T6.1** y el **Anexo VI.1**.

Algunos autores consultados (ver **Aburto y Hudlet, 1989; Cuellar, 1989**), coinciden en plantear que si bien México cuenta con abundantes recursos petroleros, la dependencia de estos es excesiva, lo que expone al país a riesgos que la mayoría de las naciones ha optado por evitar. México, dada su riqueza petrolera¹, podría disponer de un tiempo razonable para dar paso a una transición energética gradual, pero sostenida.

Tabla T6.1
Producción total de energía y generación bruta de electricidad, 1995 (% del total)

Fuentes	Prod. de energía primaria	Generac. eléctrica bruta
Hidrocarburos	89.3	60.6
Carbón	2.0	10.2
Hidroenergía	3.2	19.3
Geotermia	0.7	4.0
Energía nuclear	1.0	5.9
Leña	2.8	---
Bagazo de caña	1.0	---
Total	100.0	100.0

Fuente: SE (1996).

Los datos referidos a la oferta interna bruta de energía primaria² muestran que en 1995 los hidrocarburos aportaron el 82.9% del total; el carbón, 3.7%; la hidroenergía, 5%; la geoenergía, 1%; la energía nuclear, 1.5%; la leña 4.4% y el bagazo de caña, 1.5%.

¹ Al cierre de 1996 las reservas petroleras de México ascendían a 48.8 miles de millones de barriles y la relación reservas/producción era de 42.7 años.

² El concepto de oferta interna bruta de energía primaria considera de forma agregada a la producción total, más la variación de inventarios y las importaciones, menos la energía no aprovechada y las exportaciones.

En este contexto, llama particularmente la atención la subutilización de algunas importantes fuentes renovables como la hidroenergía, la geotermia y la energía eólica, de las cuales el país cuenta con importantes reservas aprovechables.

6.1.1. Subutilización del potencial de energía renovable a escala nacional

La **hidroenergía** es la fuente renovable mejor ubicada tanto en la composición de la producción de energía primaria de México (3.2% en 1995), como en la generación bruta de electricidad (19.3%). Sin embargo, en el presente sólo se aprovecha alrededor del 20% del potencial hidroeléctrico nacional, estimado en unos 153,031 GWh a mediados de los 90. Esta situación contrasta con los altos niveles de aprovechamiento de este recurso en algunas regiones desarrolladas como Europa, donde se explota cerca del 60% del potencial.

El desarrollo de la micro (mini)hidráulica³ es todavía incipiente en el país, de tal forma que no existen registros sobre su uso⁴. Según algunos estimados, hacia el año 2025 la generación de hidroelectricidad sobre la base de micro y miniproyectos podría oscilar entre 3.8 TWh y 5.1 TWh; lo que representaría entre un 10% y un 15% del potencial previsto de hidroelectricidad no aprovechado en el 2010 (**Corbus, et. al, 1994: 18**).

Debe tenerse en cuenta que una mayor utilización de la hidroenergía podría repercutir favorablemente tanto sobre los niveles de empleo rural como en el desarrollo de la industria nacional de bienes de capital. De acuerdo con los programas

³ De acuerdo con los patrones existentes en EE.UU., los sistemas micro-hidráulicos son aquellos que cuentan con capacidades inferiores a los 100 KW, y en los mini-hidráulicos la capacidad oscila entre 100 KW y 1000 KW; mientras que las pequeñas plantas hidroeléctricas son las que producen entre 1 y 30 MW.

⁴ Como parte de los esfuerzos de la Conae para determinar el potencial micro (mini)hidroeléctrico aprovechable en México, se llevó a cabo un estudio dirigido a ubicar los recursos hidrológicos dentro de un rango de capacidad de 1 a 5 MW, en un área de 26 mil kilómetros cuadrados situada en parte de la región centro-norte del estado de Veracruz y parte del estado de Puebla. Los resultados preliminares de este estudio indican que existen 22 proyectos en operación del sector público (CFE-LyFC), con una capacidad de 54 MW; además de otros 36 fuera de operación que pudieran rehabilitarse y que cuentan con una capacidad de unos 36 MW. Adicionalmente, se comprobó la existencia de unas 61 instalaciones privadas con potencial de 44 MW; y se identificaron alrededor de 112 sitios en los que se pueden instalar plantas minihidráulicas (**Conae, 1996: 28**).

existentes, la capacidad de generación de hidroelectricidad podría duplicarse hacia el año 2010, básicamente a partir de proyectos en gran escala.

En el caso de la **geotermia**, cuya tecnología ha sido ampliamente desarrollada en México, sólo se explota con fines energéticos alrededor del 29% del potencial económicamente viable, que se estima en unos 2.4 GW. Gran parte de los recursos geotérmicos del país se ubican en Cerro Prieto, Baja California, donde se encuentra la mayor planta generadora, con una capacidad de 620 MW, es decir, 82.3% de la capacidad geotermoeléctrica en operación en el país⁵. En 1994 los tres campos principales de México generaban electricidad con un factor de planta del 85% anual, como promedio, lo que revela un grado de eficiencia en las operaciones superior al de los otros tipos de centrales eléctricas instaladas en el país.

A mediados de los años 90, México ocupaba el tercer lugar mundial en el aprovechamiento de la geotermia, con una capacidad instalada de 753 MW, que representa el 2.4% de la capacidad eléctrica total del país. Se han diseñado programas para la explotación casi completa de este potencial hacia finales de la primera década del próximo siglo (ver Hiriart y Gutiérrez, 1995; Corbus et. al., 1994).

En lo referente a la **energía eólica**, cabe señalar que la primera planta eoloeléctrica integrada a una red de distribución en América Latina fue construida por la CFE en La Venta, a unos 30 km al noreste de Juchitán, Oaxaca, donde se encuentran instalados los primeros 1575 KW eólicos.

Esta planta consta de siete aerogeneradores de 225 KW cada uno, instalados sobre torres de tipo tubular de 31.5 metros de altura; cuya operación, desde 1994, representa un ahorro en hidrocarburos de 18 mil barriles anuales, y una disminución en la emisión de contaminantes de cuatro mil toneladas/año. Durante los dos primeros años de funcionamiento, el factor de planta fue del 48.1%, y los costos de generación del orden de los 4.3 centavos de dólar por KWh⁶ (ver Sedesol-INE, 1994; Hiriart, 1995).

⁵ El 17.7% restante se localiza en Los Azufres, Michoacán y Los Hornos, Puebla.

⁶ Este nivel de costos resulta similar al de las grandes centrales térmicas.

La capacidad para generación eólica, a partir de aerogeneradores aislados y bombas de agua alcanzó en 1995 un nivel de 350 KW, y la generación se mantuvo en 0.0005 petacalorías, con un factor de carga del 20% en los últimos años.

En general, puede decirse que el enorme potencial de eoloelectricidad, estimado en unos 50 GW, es ampliamente subutilizado en México. Además del Istmo de Tehuantepec, otros lugares de interés eólico en la República Mexicana son los estados de Zacatecas, Baja California, Veracruz e Hidalgo. Algunos autores, consideran factible que hacia el año 2025 pudiera estarse aprovechando entre 10% y 15% del potencial total de esta fuente, con un factor de capacidad del 30% (**Corbus, et. al., 1994: 16-17**).

La utilización en mayor grado de otras fuentes renovables -solar y biomasa-, como parte de las estrategias de desarrollo regional, también podría tener un impacto social significativo y menores efectos ecológicos adversos; sobre todo si se tiene en cuenta que pueden existir hasta 140 mil comunidades rurales sin acceso a servicios de electricidad en el país.

En lo referente a la utilización de la **biomasa** con fines energéticos, además de considerar la necesidad de poner en práctica programas integrales para el uso sostenible de los combustibles tradicionales como la leña, no debe olvidarse, que México se sitúa entre los 10 mayores productores de azúcar de caña del mundo (octavo lugar a mediados de los 90), y esta capacidad de producción podría casi duplicarse hacia el año 2025, lo que ofrece amplias posibilidades para la generación de electricidad a partir de los residuos de esta industria.

De acuerdo con algunos estimados, que consideran la viabilidad de ciertas transformaciones tecnológicas dirigidas a incrementar la capacidad y eficiencia de la generación eléctrica a partir de los residuos de la industria azucarera, hacia el año 2005 podrían venderse a la red entre 7,500 GWh y 13,400 GWh/año de electricidad (**Corbus et. al., 1994: 15-16**). Otras opciones de utilización de la biomasa con fines energéticos se asocian al aprovechamiento del residuo del agave que se emplea en la producción de tequila; el estiércol de ganado; y los desechos forestales, que podrían aportar hasta 230 MW.

En cuanto a la **energía solar**, no debe pasarse por alto que México se encuentra entre las zonas de alta incidencia de la radiación solar ya que más del 70% del territorio nacional recibe una insolación superior a 17 MJ/m²/día. Las regiones con mayores potencialidades para el aprovechamiento de este recurso son los estados de Baja California Norte, Baja California Sur, Sonora y Chihuahua.

En 1995, los sistemas de calentadores solares de agua generaron 0.2 petacalorías, y la superficie total instalada alcanzó los 216.2 miles de metros cuadrados, con una eficiencia promedio del 63% en los últimos años.

Algunos estudios preliminares, apoyados por la Conae, confirman la viabilidad de instalar colectores solares planos junto a los calentadores convencionales para reducir el consumo de gas licuado o natural de uso doméstico; e indican la conveniencia de instalar los colectores planos desde el diseño de las casas habitación. La materialización de estas ideas exige, entre otras cosas, avanzar sustancialmente en la normatividad de estas actividades.

Los módulos solares fotovoltaicos, con un gran componente importado, también han sido instalados para cubrir diversos servicios como bombeo de agua, iluminación doméstica en comunidades rurales, telefonía rural, repetidoras de microondas, señalamiento terrestre y marítimo y alumbrado público, entre otros. La capacidad total instalada de este tipo de equipos se elevó de 7.1 MW en 1993 a 9.5 MW en 1995; y en este último año se generaron 0.015 petacalorías.

Cabe mencionar, que la CFE cuenta con una red de monitoreo de radiación solar que ha operado durante los años 90. Como resultado de los trabajos de esta red, se cuenta con estudios de factibilidad para proyectos termosolares de 900 MW o más, en diversas partes de la República.

Desde comienzos de la presente década se ha hecho más evidente en el país el establecimiento de pequeñas empresas productoras de tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes energéticas renovables, que en algunos casos clasifican como empresas de base tecnológica; es decir empresas que basan su competitividad y permanencia en el mercado en su capacidad para generar innovaciones tecnológicas.

Como se señala en la parte final del capítulo anterior, la creación de este tipo de empresas, basadas en gran medida en su potencial innovador, es un fenómeno asociado al nuevo paradigma energético. Partiendo de estas consideraciones, esta investigación incorpora un estudio de campo dedicado a evaluar el alcance y las limitaciones de la actividad de tales empresas en México.

6.1.2. Perfil de la pequeña empresa productora de tecnologías para el aprovechamiento de energías renovables

Si bien las modificaciones del marco regulatorio para el sector energético en México, a partir de 1992⁷, podrían abrir ciertos espacios que favorecerían a las pequeñas y medianas empresas energéticas independientes, basadas en la utilización de fuentes alternativas de energía; el desempeño actual de las pequeñas empresas de energía sostenible que operan en el país muestra que no basta con cambios legislativos, por significativos que puedan resultar, para promover de forma sostenida a este segmento productivo.

Se requerirían, además, apoyos gubernamentales sustanciales y efectivos a los esfuerzos de las pequeñas y medianas empresas de este giro, así como una adecuada comunicación y vínculos fluidos con las instituciones de I-D afines, entre otros factores.

Los datos y reflexiones que a continuación se exponen han resultado del procesamiento de la información obtenida de una ronda de encuestas realizadas durante la segunda mitad de 1996 a 25 empresas energéticas y 12 instituciones de I-D afines⁸. Las empresas e instituciones de I-D encuestadas se distribuyen principalmente en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), Cuernavaca, Puebla y Guadalajara (ver Anexos VI.2 al VI.13).

⁷ Tales cambios en el marco regulatorio se refieren, por ejemplo, a la reformulación de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (1992), que abre oportunidades para que el sector privado construya, opere y tenga en propiedad plantas de generación de energía eléctrica, bajo las modalidades de cogeneración, pequeña producción y producción independiente.

⁸ Este estudio forma parte del Proyecto INDICO (Innovación, Difusión y Competitividad), del Área de Economía de la Ciencia y la Tecnología, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Economía, UNAM.

a) Caracterización general

Considerando como referencia un universo de 60 pequeñas **empresas** de energía sostenible en México⁹, la muestra cubriría cerca del 42% del total de entidades existentes, y el 61% de los fabricantes ubicados en los cuatro polos principales. Téngase en cuenta que, de las 25 empresas encuestadas, nueve (36%) están situadas en la ZMCM, cinco en Puebla (20%), cinco en Guadalajara (20%), tres en Cuernavaca (12%), y tres (12%) en otros estados (Nuevo León, Morelia y Estado de México). En el contexto del Proyecto INDICO, las 25 empresas de energía sostenible representan el 15.6% del total de 160 empresas de base tecnológica encuestadas al cierre de 1996.

El 92% de las empresas visitadas (23 empresas) están orientadas únicamente a la generación de sistemas aislados para el aprovechamiento de las energías alternativas, básicamente la de origen solar (fototermia). Las 20 empresas que producen equipo solar fototérmico, representan el 80% de la muestra total (100% de las empresas encuestadas en Cuernavaca, Puebla y Guadalajara), y se dedican preferentemente a la producción de calentadores solares de agua para usos múltiples en residencias, albercas, industrias y otras instalaciones¹⁰.

El 88% de las empresas visitadas (22 empresas) fueron fundadas después de 1970 (marco temporal básico de este estudio), y sólo tres de ellas (12%) fueron creadas con anterioridad. Más de la tercera parte del total (nueve empresas) se establecieron en este decenio, y más de las dos terceras partes (17 empresas) comenzaron a operar después de 1985.

Dos de las empresas más antiguas, incluida la empresa pionera en el aprovechamiento de la energía solar en México que tiene 54 años, están ubicadas en

⁹ Información preliminar estimada, ofrecida por el Ing. José Armando Saldaña (Secretario de Asuntos Industriales de la Asociación Nacional de Energía Solar, ANES), durante el Foro de evaluación sobre las fuentes no convencionales de energía, auspiciado por la Secretaría de Energía, la Conae y la ANES, México DF, 18 de noviembre de 1996.

¹⁰ El resto de las empresas encuestadas se dedican a la producción de tecnologías para el aprovechamiento de la energía eólica, diseños de proyectos minihidroeléctricos, y fabricación de equipos electrónicos para la utilización sistemas solares fotovoltaicos.

Guadalajara, que es el polo de energía alternativa más antiguo (21 años). El promedio de edad muestral es de 13 años y el polo más joven es el de Puebla, con un promedio de edad de 5 años; mientras que la ZMCM y Cuernavaca no muestran grandes diferencias entre sí, ni con respecto a la media muestral, al promediar 14 y 12 años, respectivamente.

El criterio básico seguido en este estudio para clasificar las empresas en micro, pequeñas y medianas es la cantidad de personal que labora en la entidad: las microempresas son las que tienen hasta 15 empleados, las pequeñas entre 16 y 100 empleados, y las medianas entre 101 y 250. Sobre esta base, la muestra está compuesta de 19 microempresas (76%), cinco pequeñas (20%) y una mediana (4%), como muestra la **tabla T6.2**.

Tabla T6.2

Clasificación de las empresas de energía sostenible encuestadas

Tipo/Polo	ZMCM	Cuernavaca	Puebla	Guadalajara	Otras	Total
Micro	5	3	4	5	2	19
Pequeñas	3	0	1	0	1	5
Medianas	1	0	0	0	0	1
Total	9	3	5	5	3	25

Fuente: Elaboración propia.

En términos agregados, el promedio de trabajadores por empresa en 1996 era de 17. Las microempresas tenían como promedio 8 empleados; las pequeñas empresas contaban con 32 trabajadores; y la empresa mediana empleaba a 110 personas (**ver Anexo VI.2**).

De las 21 empresas que ofrecieron información comparable para 1994-96 sobre su fuerza de trabajo, las microempresas registraron una caída promedio en el nivel de empleo de sólo 2.4%, mientras que en las pequeñas y medianas empresas (Pymes) este indicador disminuyó en 44.1%; lo que evidencia que las microempresas recurrieron en mucho menor grado que las Pymes al expediente de recortar las plantillas laborales, para hacer frente a la crisis.

Las doce **instituciones de I-D** encuestadas están ubicadas en los principales polos de actividad en materia de energía sostenible; seis de ellas (50%) radican en la ZMCM, tres en Cuernavaca (25%), una en Guadalajara (8%) y las dos restantes (17%) en otros estados (Guanajuato y Estado de México).

Obsérvese que el 75% de las instituciones de la muestra se ubican en la ZMCM y Cuernavaca, lo que guarda correspondencia con la distribución espacial de las instituciones de I-D en la República Mexicana; aunque debe destacarse el trabajo sostenido, de grupos de investigadores radicados en otros estados, entre los que cuentan (además de Guadalajara, Guanajuato y el Estado de México) Nuevo León, Baja California Sur, Colima, Zacatecas y Sonora.

La tercera parte de las instituciones de I-D seleccionadas para este estudio (cuatro instituciones) se dedican a investigaciones sobre fuentes alternas de energía, en sentido general, y las restantes están más especializadas en cuestiones de ahorro energético y aprovechamiento de la energía solar. La edad promedio de las instituciones es de 18 años y más de las cuatro quintas partes de ellas fueron creadas después de 1970.

Entre los objetivos básicos de las instituciones de I-D, los que alcanzaron como promedio mayores calificaciones en las encuestas fueron la realización de investigaciones aplicadas (4.92 puntos, en escala de 0 a 5), la formación y capacitación de recursos humanos (4.75 puntos); y la realización de investigaciones básicas (3.50 puntos). Con menor peso relativo se ubicaron otros objetivos, como la generación de tecnologías (3.42 puntos), el apoyo al desarrollo económico regional (3.17 puntos), y la transferencia de tecnologías al sector productivo (2.75 puntos).

La inclusión en este estudio de instituciones académicas o de I-D se debe a la importancia que tienen los vínculos academia-industria para el fomento de las fuentes alternativas de energía, tanto a nivel internacional, como en el plano nacional.

b) Capacidad técnica, humana y financiera

En cuanto a la infraestructura de I-D interna de las **empresas**, en materia de instalaciones y equipos, todas las Pymes y una de las microempresas cuentan con

unidad de I-D; mientras que las 18 microempresas restantes realizan actividades de I-D, sin disponer de un área específica para tales fines. Una peculiaridad de la I-D en la casi totalidad de las microempresas es que se lleva a cabo simultáneamente con la actividad productiva, por lo que resulta muy difícil delimitar los recursos y esfuerzos dedicados a cada actividad.

En relación con el personal clave para la I-D, las microempresas cuentan, como promedio con 2 personas (un profesionista y un técnico) involucradas en la I-D, que como se señaló antes no se dedican únicamente a estas actividades; mientras que las Pymes disponen, como promedio, de siete personas especializadas (seis profesionistas y un técnico). La media muestral es de 3 personas en labores de I-D (dos profesionistas y un técnico); con una mejor dotación en las empresas ubicadas en la ZMCM, que tienen como promedio 4 personas (profesionistas) involucradas, y mayor déficit en Cuernavaca, con apenas una persona (profesionista) vinculada.

En general, en las empresas predomina una baja presencia de personal de alta calificación entre los dedicados a actividades clave de I-D. En efecto, el 72% de la muestra (18 empresas) carece de doctores o maestros como parte del personal de I-D.

Los principales incentivos para el personal de I-D en las empresas son los incentivos económicos, con una calificación de 3.61 puntos (en escala de 0 a 5); la capacitación (3.30 puntos); y la participación en eventos académicos y exposiciones (2.35 puntos).

En lo tocante a los recursos financieros y apoyos a la I-D, debe destacarse que las limitaciones financieras constituyen uno de los principales obstáculos para la ampliación de la capacidad productiva y para la innovación en las empresas de energía sostenible. De la muestra total, 15 empresas (60%) han financiado sus operaciones básicamente con recursos propios en los últimos cinco años, y las 10 entidades restantes (40%) han recibido créditos de instituciones financieras u otras organizaciones, principalmente para cubrir necesidades de la producción.

Sólo la empresa mediana reportó préstamos recibidos en ese período para financiar actividades de I-D y de innovación; y únicamente cuatro empresas (16%)

informaron haber recibido apoyos de instituciones gubernamentales para promover la actividad innovadora.

Las razones básicas que explican la no obtención o la no solicitud de créditos a instituciones de financiamiento por parte de la mayoría de las empresas encuestadas fueron las altas tasas de interés, con una valoración de 4.41 puntos (en escala de 0 a 5); la aversión al riesgo (3.24 puntos); y la persistencia de muchos trámites y reglas (3.12 puntos).

De acuerdo con la opinión media de empresarios e investigadores del giro, los tres principales problemas que enfrenta la I-D en las empresas de energía sostenible son el déficit de financiamiento, con una calificación promedio de 3.72 puntos (en escala de 0 a 5); la discontinuidad en las actividades de I-D (2.89 puntos); y la falta de personal calificado (2.69 puntos) (**ver Anexo VI.3**).

Los problemas de retardo e incertidumbre en los resultados recibieron bajas calificaciones como obstáculos a la actividad de I-D en las empresas, según la opinión de empresarios e investigadores (2.42 y 1.71 puntos, respectivamente); lo que pudiera estar asociado al elevado grado de madurez de la tecnología solar basada en el principio de la fototermia, que es la predominante en esta muestra empresarial.

La infraestructura de I-D de las **instituciones**, en lo referido a equipos, laboratorios, redes de comunicación, bibliotecas y plantas pilotos, recibió una calificación promedio de 3.81 puntos (en escala de 0 a 5), según la opinión de los investigadores encuestados.

A los efectos de evaluar la cantidad y calificación del personal clave en las instituciones de I-D, los centros encuestados fueron divididos en dos grupos; en el primer grupo (I) se ubican 8 instituciones que tienen hasta 10 investigadores cada una, y en el segundo grupo (II) están cuatro centros con una plantilla de entre 11 y 20 investigadores cada uno.

El grupo I cuenta con un promedio de 5 investigadores, de los cuales 3 son maestros, uno es doctor y uno sólo ha alcanzado nivel de licenciatura; mientras que el grupo II tiene un promedio de 17 investigadores, de los cuales 9 son doctores, 4

maestros y 4 licenciados. En términos agregados, el promedio de investigadores de la muestra es de nueve: 44% doctores, 33% maestros y 23% licenciados.

El presupuesto agregado promedio de las instituciones de I-D en 1996, fue cubierto en un 47% por universidades nacionales, en 29% por organismos públicos nacionales, en 21% por recursos propios (ventas de proyectos y otros ingresos) y en 3% por organismos públicos internacionales. No se reporta ningún aporte financiero de empresas a estos presupuestos.

Al evaluar los principales problemas que enfrenta la actividad propia de I-D, las instituciones consideran como principales obstáculos el déficit de financiamiento (3.58 puntos) y la falta de personal calificado (2.08 puntos).

c) Esfuerzo innovador y alianzas

La información relacionada con el esfuerzo innovador se refiere fundamentalmente a los gastos de I-D, así como a los vínculos, alianzas y convenios de colaboración. En promedio, las empresas visitadas dedican a la I-D entre 5% y 10% del total de sus ventas; en las microempresas la media de este indicador varía entre 3% y 5%; en tanto que para las Pymes se sitúa entre 5% y 10%.

En la mayoría de los casos (84% de las empresas) se reportan vínculos con centros de I-D, instituciones de educación superior, u otras empresas, para llevar a cabo la actividad productiva y realizar las innovaciones. El polo en que se registra el menor grado vinculación academia-industria e interempresarial es Guadalajara, donde el 60% de las empresas no reportó vínculos o alianzas con otras instituciones afines.

Del conjunto de empresas encuestadas, en el 60% de los casos se mantuvo el nivel de los vínculos en los últimos cinco años; en el 16% se registró un incremento de dichos vínculos; en el 8% se reportó una disminución; y en el 16% restante (4 microempresas) no se reportaron alianzas.

A pesar de existir cierto grado de vinculación entre la mayoría de las empresas encuestadas y otras instituciones de I-D o empresas afines, prevale el criterio de que el nivel de tales vínculos es sumamente bajo. Como promedio, en las encuestas realizadas a empresarios e instituciones de I-D, los vínculos academia-industria sólo

obtuvieron 1.88 puntos (en escala de 0 a 5). Por su parte, los empresarios asignaron a los vínculos interindustriales una calificación de 1.64 puntos; y las instituciones otorgaron a los vínculos entre instituciones de I-D afines 3.50 puntos (**ver Anexo VI.4**).

Las empresas ubicadas en Puebla son las que reportaron el nivel más alto de vínculos interindustriales (3.00 puntos) y de relaciones academia-industria (2.60 puntos); mientras que las de Guadalajara reportaron los niveles más bajos en ambos indicadores, con calificaciones de 0.20 puntos y 0.80 puntos, respectivamente.

En sentido general, las relaciones interindustriales se han visto frenadas por razones de competencia, que en ocasiones han sido sobredimensionadas; lo que ha impedido un mayor aprovechamiento de los espacios de colaboración existentes entre productores. A partir del reconocimiento de estas realidades, la mayor parte de estas empresas se ha pronunciado por el establecimiento de una asociación nacional de productores, que permita el reforzamiento de los vínculos entre empresas afines.

En cuanto a las relaciones academia-industria, que constituyen un aspecto medular de este estudio, cabe apuntar que las estadísticas de las 12 instituciones de I-D encuestadas muestran la existencia de 7 investigadores empresarios, procedentes de cuatro centros de I-D; y además, se reportaron cuatro empresas derivadas de las investigaciones¹¹ de tres de los cuatro centros antes mencionados.

Tanto los empresarios como las instituciones de I-D coincidieron en señalar que los principales factores que inhiben los vínculos academia-industria en el área de la energía sostenible en México son el desconocimiento por parte de las empresas del potencial existente para tales relaciones (calificación promedio de 3.79 puntos, en escala de 0 a 5), las limitaciones financieras de las empresas (3.67 puntos) y el interés excesivo de las empresas en los beneficios inmediatos (3.54 puntos) (**ver Anexo VI.5**).

De acuerdo con la opinión media de empresarios e investigadores, los principales factores con potencial para estimular los vínculos academia-industria en un futuro próximo son la posibilidad de que mediante esas relaciones mejore la capacidad de respuesta de las empresas ante los cambios en el mercado (4.05 puntos), la posibilidad de que por esa vía mejore el ingreso de los investigadores involucrados

¹¹ Dos de estas empresas fueron encuestadas.

(3.85 puntos), la confianza que se logre entre las partes (3.84 puntos), y el déficit de infraestructura adecuada para la I-D en las empresas (3.72 puntos) (**ver Anexo VI.6**).

En una primera aproximación a la evaluación de las redes de contactos para las empresas de energía sostenible, se identificaron las relaciones básicas de dichas empresas -tanto dentro como fuera del polo correspondiente-, con seis grupos de agentes: 1) universidades y centros de I-D; 2) unidades de información; 3) otras empresas; 4) incubadoras y parques científicos; 5) instituciones financieras; 6) instituciones que brindan apoyos.

Partiendo de ese esquema de trabajo y considerando los vínculos reportados por los empresarios visitados, puede decirse que el grado de vinculación¹² para la muestra total es de 48% dentro de los polos y 31% fuera de los polos, lo que se traduce en una tasa agregada del 39% de aprovechamiento del potencial de vínculos externos a la empresa (**ver Anexo VI.7**).

De los cuatro polos principales que se analizan, el de Cuernavaca es el que revela un mayor grado de vinculación (56%), sobre todo dentro del polo (78%); mientras que Guadalajara es el que muestra un menor desarrollo de tales redes, con un grado de vinculación de apenas 13%. En promedio, las microempresas muestran un grado de vinculación (44%) significativamente más bajo que las Pymes (61%).

En un intento por evaluar los principales motivos de las empresas para instalarse en los respectivos polos, se comprobó que en ninguno de los cuatro polos considerados, las posibilidades de inserción en redes de vínculos con instituciones de apoyo, I-D, u otras empresas son razones de peso que explican la ubicación de las empresas en esas regiones (**ver Anexo VI.8**). En Cuernavaca y Puebla la instalación se explica básicamente por razones familiares, personales y de calidad del entorno; en Guadalajara por motivos familiares y personales; y en la ZMCM por las dimensiones del mercado y la infraestructura de comunicaciones.

¹² Se trata de un indicador simple, que sólo contabiliza la existencia o no de vínculos, según la información procesada.

d) Resultados de la innovación en las empresas

Las 25 empresas, consideradas en su conjunto, brindaron información sobre 54 innovaciones, de las cuales 50 son de producto (92.6%) y sólo cuatro son de proceso (7.4%). De acuerdo con la información disponible, la atracción de mercado explica, como promedio, el 61% del resultado innovador, y el empuje tecnológico el 39%.

Todas las innovaciones son consideradas como permanentes; y en el 48.1% de los casos se ha solicitado algún tipo registro de propiedad intelectual, nacional o internacional. Esa proporción incluye un 9.3% de solicitudes nacionales concedidas; un 29.6% de solicitudes nacionales aún no concedidas; un 3.7% de solicitudes internacionales (en EE.UU) otorgadas; y un 5.5% de solicitudes internacionales (en EE.UU.) aún no otorgadas.

Muchos de los encuestados se refirieron a los altos costos, trámites excesivos y significativos retrasos, como factores que erosionan el interés de los empresarios en relación con los registros de propiedad intelectual, sobre todo en el plano nacional.

Por su grado de impacto, las innovaciones reportadas por las empresas son en un 90.7% innovaciones incrementales (básicamente mejoras), y sólo un 9.3% de las innovaciones registradas representan novedades en el plano nacional. Como se explicó en la sección referida al giro de actividad de las empresas, la inmensa mayoría de las empresas encuestadas se dedican al aprovechamiento de la energía solar, basado en sistemas fototérmicos; o sea se trata tecnologías maduras que son objeto de innovaciones incrementales, preferentemente mejoras, que no implican cambios radicales en el producto o proceso productivo.

En cuanto a la procedencia de las innovaciones, como promedio, el 69% del proceso innovador ha sido de origen interno, y el 31% es el resultado de los vínculos o alianzas de las empresas con otras instituciones (**ver Anexo VI.9**).

En términos de comercialización y penetración de mercados, cabe señalar que el 26% de los productos innovadores se comercializan en los tres mercados (local, nacional e internacional); el 68% en los mercados local y nacional; y el 6% únicamente en mercados locales.

Las microempresas ubican preferentemente sus productos en los mercados local y nacional (84%) o únicamente local (8%), con una limitada presencia (8%) en los mercados externos; en tanto que los productos de las Pymes cubren en la mayor parte de los casos (73%) los tres mercados, con un 27% que sólo se vende local y nacionalmente.

Como promedio muestral, el 89% de las ventas se dirige a clientes privados, 10% a instituciones públicas y 1% a instituciones de investigación autónomas. Las Pymes orientan 55% de su producción hacia la esfera privada y 43% hacia la pública, con un remanente del 2% hacia el área de investigaciones autónomas; mientras que las microempresas exhiben una cartera comercial mucho menos diversificada, con una dependencia casi absoluta (97%) de clientes privados, sólo un 2% dirigido al sector público y 1% a las instituciones de investigación.

Los principales obstáculos que han encontrado las empresas para ampliar sus mercados nacionales han sido la falta de cultura energética de los clientes (con una calificación media de 4.46 puntos, en escala de 0 a 5); la falta de incentivos fiscales a clientes (4.20 puntos) y la falta de normas reguladoras de la actividad (3.61 puntos). También se destacan como limitaciones para las empresas el déficit de financiamiento (3.59 puntos) y las tarifas subsidiadas a los combustibles fósiles (3.54 puntos) (ver **Anexo VI.10**).

En términos generales, las principales acciones llevadas a cabo por las empresas para hacer frente a las dificultades productivas y de comercialización han sido el reforzamiento de las operaciones de *marketing* (92% de las empresas); la especialización productiva (64%); y búsqueda de nuevas alianzas, tales como la asociación con otras empresas, con capitales de riesgo o subcontratación de servicios (44%). Otras medidas tomadas se refieren a reestructuraciones empresariales dirigidas a reducir costos fijos y variables (28% de las empresas), o a establecer nuevas líneas productivas (24%).

Con los resultados del proceso innovador de las 25 empresas encuestadas se realizó el cálculo del Índice Indico (índice de innovación) promedio de las empresas de energía sostenible de México, que puede observarse en el **Anexo VI.11**, donde se

presenta una síntesis de los datos relativos al dominio tecnológico ("capacidad/esfuerzo") y "resultados" del proceso innovador. El indicador agregado de dominio tecnológico considera tres variables básicas: la existencia de alianzas para la innovación, la infraestructura para I-D, y el porcentaje de ingresos por ventas dedicadas a la I-D; en tanto que el indicador agregado de resultados considera las innovaciones reportadas, los registros de propiedad intelectual y los mercados de los productos innovadores.

En general, se obtuvo un Índice Indico de 4.61 puntos (en escala de 0 a 10), como indicador de la actividad innovadora de las empresas, a partir de promediar los dos índices parciales: el Índice de Dominio Tecnológico (5.20 puntos) y el Índice de Resultados (4.02 puntos); donde el primero de los índices parciales supera al segundo en un 29.4%.

En las microempresas el Índice Indico promedió 3.96 puntos (4.53 puntos en dominio tecnológico y 3.39 puntos en resultados); lo que expresa un desempeño innovador inferior al de las Pymes que alcanzaron un Índice Indico de 6.67 puntos (7.33 en dominio tecnológico y 6.00 en resultados).

De los cuatro polos estudiados, el de la ZMCM se destaca por tener mayor actividad innovadora, con un Índice Indico de 5.44 puntos; seguido por Puebla (4.90 puntos); Cuernavaca (3.33 puntos) y Guadalajara (3.10 puntos). Si bien el 96% de las empresas encuestadas clasificaron como innovadoras, debe apuntarse que el 48% del total obtuvo un Índice Indico inferior a la media de 4.61 puntos.(ver Anexo VI.12).

En resumen, la información referida a las pequeñas empresas del sector de la energía sostenible en México revela, que si bien existe un proceso emergente de innovaciones energéticas en el país, en línea con las principales tendencias internacionales dirigidas a reducir el impacto ambiental adverso del sector energético; todavía este proceso enfrenta serias limitaciones en los niveles macro y microeconómico.

A escala nacional (nivel macroeconómico), aún se aprecia un escaso interés real en cuanto al fomento de las energías alternativas, lo que resulta evidente al

examinar el Programa de Desarrollo y Reestructuración del Sector de la Energía 1995-2000.

A nivel microeconómico, las principales limitaciones que enfrenta el proceso de innovaciones en materia de energía sostenible en México, según la opinión generalizada de los encuestados, son las restricciones financieras, la falta de apoyo del gobierno y el marco legal existente, entre otras. Estas situaciones adversas suelen traducirse, generalmente, en una insuficiente dotación de personal calificado, infraestructura de I-D insuficiente y desestímulo al proceso inversionista. Estas realidades serían elementos claves a considerar a la hora de pensar en reformulaciones de la política energética a tono con los intereses de la nación en materia de desarrollo sostenible.

Tanto los empresarios como los investigadores encuestados coincidieron en señalar que la variable ambiental aún no constituye un factor que facilite la obtención de créditos y apoyos gubernamentales por parte de las empresas del giro; aunque consideran que esta situación podría cambiar en un futuro próximo, es decir en la próxima década (**ver Anexo VI.13**).

Si bien las pequeñas empresas de energía sostenible de México constituyen un segmento de dimensiones económicas sumamente modestas en la actualidad, no deben pasarse por alto las enormes potencialidades económicas, sociales, tecnológicas y ambientales, asociadas al desenvolvimiento de este subsector en un futuro próximo.

La realización o materialización de estas potencialidades depende en gran medida del fortalecimiento de las capacidades técnicas, humanas y financieras del subsector, del fomento de las actividades de I-D, tanto en las empresas como en las instituciones científicas; y de la ampliación de los vínculos interindustriales, academia-industria, y entre instituciones de I-D afines.

6.2. Intensidad energética y potencial de ahorro de energía

Como se explicó en el Capítulo I (epígrafe 1.3), la **intensidad energética** es la relación entre la cantidad de energía suministrada al mercado nacional en un año y el

nivel del PIB correspondiente a ese mismo año, y en su magnitud influyen dos tipos de factores: estructurales y tecnológicos.

Los factores estructurales se refieren a la naturaleza de las actividades que generan el PIB y, en este sentido, cabe destacar la significativa presencia que tienen en la producción mexicana industrias pesadas, que requieren un alto consumo de energía, como las de acero, cemento, papel, minería, química, petroquímica, entre otras. La distribución sectorial del consumo final de energía en México (1995) es como sigue: transporte, 38.9%; industria y minería, 36.2%; sector residencial, comercial y público, 22.3% y agropecuario, 2.6% (SE, 1996a: 54).

Por su parte, los factores tecnológicos están determinados por la forma en que se utilizan los recursos energéticos en los distintos sectores económicos. Como la elección de las tecnologías suele explicarse, en gran medida, por la relación de costos entre los factores productivos, en un país como México, donde la energía ha sido tradicionalmente barata y el capital escaso y caro, se ha tendido a adquirir tecnologías menos costosas aunque sean poco eficientes desde el punto de vista energético (ver Viqueira, 1987).

6.2.1. Evolución tendencial de la intensidad energética

Entre 1973 y 1985 la intensidad energética en México aumentó en casi 20%, en momentos en que los países más desarrollados registraban una caída en ese indicador, aproximadamente del mismo orden. Según las estadísticas de la Agencia Internacional de Energía, en 1993 la intensidad energética de México superaba al promedio de la OCDE en más de dos veces (IEA, 1995: 148; 1996a: 303). Además, de acuerdo con reportes de la OLADE, en 1994 el consumo final per cápita de energía de México superaba a la media latinoamericana en un 29% y la intensidad energética era mayor al promedio regional en más de un 10%.

A partir de 1989, la intensidad energética de la economía mexicana ha registrado cierta tendencia decreciente; llegando a acumular una caída del 8.2% hasta 1994; pero el nivel correspondiente a este último año es aproximadamente igual al de 1980; lo que revela el limitado progreso alcanzado en la comportamiento de este

indicador. En 1995 se registró un incremento anual de este indicador en alrededor de un 5.2%.

El análisis de la evolución del consumo energético y del PIB¹³ entre 1980 y 1995, según cifras oficiales mexicanas, revela que la intensidad energética del país en ese período creció en un 5.4%, como resultado combinado de los cambios estructurales y tecnológicos ocurridos en la economía de México (ver Anexo VI.14). Retomando la fórmula (1.6) para el cálculo de la intensidad energética, expuesta en el Capítulo I (epígrafe 1.3), se tiene que:

$$ET = (fa \times la + fi \times li + fs \times ls + ft \times lt) \times PIB.$$

$$ET/PIB = IET$$

$$IET_{1995} = fa_{1995} \times la_{1995} + fi_{1995} \times li_{1995} + fs_{1995} \times ls_{1995} + ft_{1995} \times lt_{1995}$$

$$IET_{1995} = 0.0762 \times 0.0567 + 0.3261 \times 0.4432 + 0.5136 \times 0.0766 + 0.0792 \times 0.8195.$$

$$IET_{1995} = 0.2534 \text{ Gcal/ peso producido (a precios de 1980).}$$

donde: *f* se refiere a la participación de cada sector económico en el PIB, e *I* es la intensidad energética de cada sector; **ET** es la demanda energética total, e **IET** es la intensidad energética total de la economía. Los sectores económicos son: agropecuario (*a*), industrial (*i*), residencial, comercial y público (*s*)¹⁴ y transporte (*t*).

Utilizando la misma metodología de cálculo, se obtiene que $IET_{1980} = 0.2404$ Gcal/peso, y con esta información se calcula la variación de la IET en el período 1980-1995:

$$IET_{1995}/IET_{1980} = 1.054.$$

Durante este período, en la estructura del PIB el sector agropecuario disminuyó su aporte de 8.2% a 7.6% y el sector de servicios (residencial, comercial y público) de 52.6% a 51.9%; mientras que la industria redujo discretamente su participación, de 32.8% a 32.6%, y el sector del transporte la incrementó del 6.4% al 7.9%. Obsérvese

¹³ Las cifras del PIB se ofrecen anualizadas a precios constantes de 1980.

¹⁴ La información agregada de los subsectores residencial, comercial y público se toma en este trabajo como aproximación al sector de servicios; es decir se sigue la misma metodología utilizada por otros autores como Rangel (1995: 39).

que únicamente en el caso del sector de transporte el cambio del aporte sectorial al PIB fue superior a un punto porcentual.

Del lado de la intensidad energética sectorial, durante 1980-95 se registraron caídas en el sector agropecuario (-12.8%), en el de transporte (-5.2%) y en el industrial (-1.3%), mientras que el sector residencial, comercial y público mostró un incremento del 23.3%.

En una evaluación de los componentes básicos de la evolución de la IET entre 1980 y 1995, se calcularon los efectos “intensidad” y “estructural”, siguiendo la idea general de las fórmulas (1.12) y (1.13), presentadas en el Capítulo I (epígrafe 1.3) ¹⁵.

Efecto intensidad: Supone la ausencia de cambios en la estructura del PIB entre 1980 y 1995 (*).

$(IET_{1995} / IET_{1980})^* = [SUM (f_j_{1980} \times l_j_{1995})] / IET_{1980}$, donde $j = a, i, s, t$.

$(IET_{1995} / IET_{1980})^* = (0.0046 + 0.1451 + 0.0403 + 0.0523) / 0.2404 = 1.0079$

De acuerdo con este resultado, si no se hubiesen producido cambios en la estructura sectorial del PIB en 1980-95, la IET hubiese aumentado en un 0.8%, atribuible únicamente a las variaciones ya mencionadas en las intensidades energéticas sectoriales, donde tuvo particular incidencia el incremento de este indicador en el sector de servicios.

Efecto estructural: Supone la ausencia de cambios en las intensidades energéticas sectoriales entre 1980 y 1995 (**).

$(IET_{1995} / IET_{1980})^{**} = [SUM (f_j_{1995} \times l_j_{1980})] / IET_{1980}$, donde $j = a, i, s, t$.

$(IET_{1995} / IET_{1980})^{**} = (0.0049 + 0.1464 + 0.0322 + 0.0684) / 0.2404 = 1.0478$

Según el resultado de este cálculo, si no se hubiesen producido cambios en las intensidades energéticas sectoriales en 1980-95, la IET hubiese aumentado en un 4.8%, atribuible únicamente a las variaciones en la participación de cada uno de los sectores antes referidos en el PIB. En este sentido se destaca el incremento reportado por el sector de transporte dentro del PIB en esos años.

¹⁵ Debe recordarse que las fórmulas (1.12) y (1.13) se refieren a usos finales específicos; no obstante la idea propuesta para calcular los efectos “intensidad” y estructural” es válida para un análisis agregado, como el que se presenta en esta sección.

Como puede observarse, la evolución real de la IET en el período que se evalúa es la resultante de dos tendencias básicas; en primer lugar, los cambios estructurales en el PIB, particularmente el incremento de la parte correspondiente al sector de transporte; y en segundo lugar, la evolución de las intensidades energéticas sectoriales, especialmente el aumento registrado en la intensidad energética del sector de servicios.

6.2.2. Intensidad energética y potencial de ahorro por sectores

El estudio del comportamiento por sectores de la intensidad energética de la economía mexicana ha permitido identificar importantes reservas de conservación y uso eficiente de la energía en el país, cuyo aprovechamiento, en muchas ocasiones, sólo requiere inversiones modestas.

a) Sector industrial

Desde una perspectiva sectorial, cabe destacar que el sector de la industria y la minería absorbió en 1995 el 36.2% del consumo energético final¹⁶ (39.5% en 1984) y aportó el 32.6% del PIB, frente a 31.1% en 1984; es decir que en esos años el aporte de este sector al producto nacional aumentó en unos 1.5 puntos porcentuales, al tiempo que la parte en el consumo final cayó en más de tres puntos.

En la composición del consumo energético final del sector industrial, en 1995 el 48.2% del monto total correspondía al gas natural, 16.8% al combustóleo, 16.3% a la electricidad, 6.2% al bagazo de caña, 6.1% al coque, 5% al diesel, 1.3% al gas licuado y 0.1% a las kerosinas. Uno de los cambios más importantes en esta dirección, en los diez años transcurridos entre 1984 y 1994, fue un incremento de la parte correspondiente a la electricidad en más de cuatro puntos porcentuales, que tuvo

¹⁶ El consumo energético final = consumo nacional total de energía - (consumo del sector energético + consumo no energético). Para los cálculos de las intensidades energéticas sectoriales y total, el consumo energético de la industria y la minería incluye, además del consumo energético final de este sector, al consumo del sector energético y al consumo no energético. Sobre esta base, el sector industrial absorbió el 58.2% del consumo nacional total de energía en 1995. Esta agregación asegura la consistencia del modelo utilizado para calcular la intensidad energética total.

como contrapartida, en lo fundamental, una reducción en el aporte del gas natural, bagazo de caña, coque y combustóleo.

Sólo siete ramas industriales (siderurgia, petroquímica de Pemex, química, cemento, azúcar, minería, y celulosa-papel), utilizan el 66.8% de la energía final que consume este sector; y en el caso de las ramas siderúrgicas, que son las mayores consumidoras, esta proporción es de 17.2%.

De los cuatro grandes sectores económicos analizados en este trabajo (agropecuario, industria, servicios y transporte), el sector industrial se presenta como el segundo más intensivo en el uso de energía (0.4432 Gcal/peso de producción en 1995, a precios de 1980), sólo superado por el sector de transporte (0.8195 Gcal/peso producido en el mismo año).

La industria mexicana registra, en general, elevados consumos de energía, que representan entre 10% y 30% de los costos de producción. Diversos estudios realizados por especialistas energéticos mexicanos dan cuenta de las amplias potencialidades existentes para promover el ahorro y el uso eficiente de la energía en las ramas industriales (ver Souza, 1994 y SE-Conae, 1995a):

- en la **siderurgia**, por ejemplo, según datos de comienzos de este decenio, el consumo específico (intensidad energética) para producir acero mexicano se ubicaba en alrededor de 6 120 000 Kcal/ton. de acero, mientras que el consumo internacional era de 3 800 000 Kcal/ton. de acero. El potencial de ahorro energético estimado para esta rama industrial en 1995 era de un 15% en el corto plazo¹⁷; y de un 36% a mediano plazo¹⁸. Además, se estima que la tercera parte de las necesidades energéticas de la planta siderúrgica podría ser cubierta a partir de la cogeneración;
- en la rama **petroquímica**, pudiera ahorrarse hasta un 20% de la energía requerida a corto plazo, y un 32% a mediano plazo (2000);

¹⁷ Considera sólo inversiones mínimas o nulas.

¹⁸ Considera inversiones para cambios tecnológicos de productos y procesos hasta el año 2000.

- en la **industria química**, se estima un potencial de ahorro del orden del 15% en el corto plazo y de 25% a mediano plazo (2000). También se considera que la cogeneración podría aportar hasta un 40% de las necesidades energéticas propias;
- en la **industria cementera**, si bien se ha registrado una constante reducción de los consumos específicos debido a la introducción sostenida de equipos y tecnologías relativamente modernos, aún existe un potencial de ahorro de alrededor de 15% a corto plazo y de un 22% a mediano plazo (2000);
- en la **industria azucarera**, donde el consumo específico ascendía a 9 500 000 Kcal/ton en los últimos años, frente a un nivel promedio internacional de 5 000 000 Kcal/ton, también se cuenta con un enorme potencial de ahorro y amplias posibilidades de cogeneración. El ahorro potencial estimado para el corto plazo es del 38%, y de 40% para el año 2000;
- en la **industria de celulosa y papel**, donde operan unas 65 empresas, el potencial de ahorro se ha calculado en alrededor de un 20% a corto plazo y 30% a mediano plazo (año 2000).

Por su parte, la **industria energética** continúa siendo el principal consumidor de energía en México. En 1995 el sector energético utilizaba alrededor del 29% del consumo nacional total de energía (34% en 1980), distribuido de la siguiente forma: pérdidas por transformación, 17.1%; autoconsumo, 10.5%; y pérdidas por distribución 1.8%. De esta manera, en 1995 el consumo de la industria energética superó en un 23.2% al consumo final total correspondiente a las otras ramas industriales.

La industria energética está conformada, en lo fundamental, por las instalaciones o centros de transformación de Pemex, CFE y Luz y Fuerza del Centro¹⁹, entre los cuales se encuentran las refinerías de petróleo, las plantas de gas y fraccionadoras, las centrales eléctricas y las plantas coquizadoras.

En 1995 las seis refinerías de petróleo existentes tenían una capacidad primaria de 1520 miles de barriles diarios y procesaron el 56.9% de la energía primaria que se envió a los centros transformadores; las plantas procesadoras de gas natural y

¹⁹ Luz y Fuerza del Centro tiene la función de prestar el servicio público de energía eléctrica en la zona central del país; atiende a casi 5 millones de usuarios y sirve, entre otras, a la Ciudad de México y su zona conurbada, así como a las ciudades de Cuernavaca, Toluca, Pachuca, Tula y Tulancingo.

condensados transformaron el 30.9%; las centrales eléctricas el 10.9% y las plantas coquizadoras el 1.3% de la energía enviada a procesamiento.

Teniendo en cuenta las pérdidas por transformación en las principales instalaciones en 1995, el coeficiente de conversión de las refinerías, plantas de gas y fraccionadoras fue de 99.2%; la eficiencia de las centrales eléctricas fue del 35.1% y el coeficiente de conversión de las coquizadoras fue del 90% (**ver SE, 1996a**).

Resulta particularmente relevante, el peso que conserva el sector industrial entre los grandes consumidores de electricidad en México. Durante las últimas dos décadas, el consumo final de electricidad de la industria mexicana creció a un ritmo promedio anual del 7%; y la parte de la energía eléctrica captada por este sector en 1995 todavía representaba más de la mitad del consumo final de electricidad (55%).

Entre las ramas industriales con mayor demanda eléctrica se encuentran la siderurgia (11.1% del consumo sectorial de electricidad en 1995), la química (7.8%), la minería (8.1%), el cemento (5.8%) y la de celulosa-papel (4%). De acuerdo con estimados recientes, este sector cuenta con un potencial de ahorro de electricidad del 10%, únicamente considerando operaciones de mantenimiento y aumento en la eficiencia de motores, más un mejor aprovechamiento del potencial de cogeneración (**ver Sheinbaum y Rodríguez, 1996a: 29-41**).

b) Sector transporte

Otro gran consumidor de energía en México es el sector de transporte, que con un aporte de 7.9% al PIB absorbía, en 1995, el 38.9% del consumo energético final (27.3% en 1965) y 25.5% del consumo nacional total de energía. Consecuentemente, este sector económico es el que muestra una mayor intensidad en el uso de energéticos: 0.8195 Gcal/peso de producción en 1995, a precios de 1980.

En 1995 el consumo de energía de este sector era cubierto, casi en su totalidad (99.7%) por los derivados del petróleo como gasolinas y naftas (66.3%), diesel (25.5%), kerosinas (6.5%), gas licuado (1.3%) y combustóleo (0.1%); correspondiendo el 0.3% restante a la electricidad. Con relación a 1984, el principal cambio operado en la composición del consumo de este sector hasta 1994 fue el incremento del peso de

las gasolinas en casi 8 puntos porcentuales; mientras que el diesel, el combustóleo y el gas licuado disminuyeron su aporte (ver SE, 1996a).

Por tipo de transporte, la estructura del consumo en 1995 era dominada por el autotransporte que absorbía el 89.6% del total; mientras que el transporte aéreo utilizaba el 6.8%; el marítimo, 1.8%; el ferroviario, 1.6% y el eléctrico, 0.2%. Como puede apreciarse, persiste el uso intensivo de los automóviles y predomina la transportación de cargas por carretera (60% del total) frente a la carga por ferrocarriles.

En el caso de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), donde los autos privados representan el 71% del parque vehicular, a comienzos de este decenio circulaban unos 3 millones de automóviles, que consumían el 80% de la gasolina comercializada en la ciudad y sólo transportaban al 18% de las personas (Glifo, 1995: 113).

De acuerdo con cifras oficiales correspondientes a 1994, por cada viaje/persona/día los vehículos privados consumían alrededor de 19 veces más energía que la Ruta-100, 62 veces más que el metro y 94 veces más que los trolebuses (PEF, 1996: 44); lo que revela patrones de movilidad urbana sumamente irracionales, costosos y ambientalmente adversos.

Para el año 2003, el potencial de ahorro energético del sector asciende a 18.3% (18.5% en autotransporte; 15% en transporte aéreo; 21% en ferrocarriles; y 22% en transporte marítimo), lo que equivale a unos 82.7 millones de barriles de petróleo crudo equivalente (Arenas, 1994: 248).

c) Sector residencial, comercial y público

El sector comercial, residencial y público ocupa el tercer lugar entre los consumidores más importantes de energía del país; en 1995 este sector empleaba el 22.3% del consumo final de energía (35% en 1965) y el 14.5% del consumo energético nacional total. Del consumo energético sectorial, al subsector residencial le correspondió en ese año un 83.3%, al comercial un 14.5%, y al público un 2.2%.

Para el cálculo de la intensidad energética sectorial se utilizó como indicador productivo el monto agregado de producción correspondiente a sectores de servicios dentro del PIB, tales como: comercio, restaurantes y hoteles; servicios financieros, seguros y bienes inmuebles; y servicios comerciales, sociales y personales; que representó en 1995 el 51.9% del PIB²⁰.

En la actualidad, este sector es uno de los menos intensivos en el uso de energía (0.0766 Gcal/peso de producción), pero la dinámica de la intensidad energética sectorial ha mostrado un ritmo ascendente en los últimos quince años; entre 1980 y 1995 este indicador creció en más de un 23%.

De acuerdo con las cifras oficiales correspondientes a 1995, el consumo energético sectorial es cubierto preferentemente por el gas licuado (43.8%), la leña (29.2%), la electricidad (18.4%); y otros -gas, combustóleo, kerosinas y diesel- (8.6%).

Una de las tendencias más notables en la evolución de la estructura del consumo sectorial en 1984-94 fue la drástica reducción de la participación de la leña, en casi 14 puntos porcentuales, y en menor grado de las kerosinas, que perdieron más de cuatro puntos. Como contrapartida, el gas licuado ganó casi 12 puntos y la electricidad 6.4 puntos, lo que revela una mayor penetración de los combustibles comerciales en el sector residencial (ver SE, 1996a).

Con relación a los combustibles tradicionales de la biomasa, cabe destacar que si bien la leña sólo representó en 1995 el 4.4% de la oferta interna bruta primaria; su aporte a los requerimientos energéticos del subsector residencial en ese año superó el 35%. De acuerdo con datos de finales de la pasada década, que no deben diferir mucho de la situación actual, la leña representaba el 69% del consumo energético del sector rural; a lo que se añadía un 10% aportado por el gas licuado; 10% por la gasolina; 6% por el diesel; 3% por la electricidad y 2% por las kerosinas (Bauer y Quintanilla, 1995a: 74).

²⁰ El cálculo de la intensidad energética agregada de estos tres subsectores (residencial, comercial y público) se perfeccionaría en la medida en que los datos del PIB incorporen el aporte productivo de los hogares, como sugieren las versiones más recientes del Sistema de Cuentas Nacionales de Naciones Unidas.

En efecto, para muchas familias de comunidades rurales la leña constituye la única fuente energética disponible, y ésta es utilizada de forma sumamente ineficiente con fines diversos (preparación de alimentos, calentamiento de agua y del hogar, etc.); de modo que también en estas actividades existe un enorme potencial para mejorar la eficiencia energética.

En lo referido al consumo de electricidad, estos tres subsectores (residencial, comercial y público) utilizaban el 38.3% del consumo eléctrico total en 1995; sólo el subsector residencial absorbía el 25.1% de ese total. En efecto, el sector residencial es un componente básico de la demanda eléctrica, debido a su dinámica creciente y a su importancia en el período de demanda pico (entre las 17:00 y las 22:00 horas). La demanda adicional de electricidad estimada por CFE para el período 1993-2003 es de entre 10 y 20 TWh, pero este monto podría reducirse sustancialmente si se aprovechan en mayor grado las potencialidades de conservación y uso eficiente de esta forma de energía.

En los veinte años transcurridos entre 1970 y 1990, el consumo eléctrico de los hogares mexicanos se incrementó a un ritmo promedio anual de 9%, es decir dos puntos porcentuales por encima de la demanda eléctrica nacional, debido fundamentalmente al avance registrado en la electrificación del país y a la mayor introducción de equipos electrodomésticos en los hogares.

Entre 1970 y 1990 la cobertura de los servicios eléctricos pasó del 59% al 89% de la población. También se ha registrado un desplazamiento creciente de usuarios de los bloques de menos consumo eléctrico (menos de 50 KWh/mes) a los bloques de consumo medio (entre 50 y 150 KWh/mes). En sólo 8 años a partir de 1983, la proporción de usuarios ubicados en los segmentos de consumo medio pasó del 31% a 56%; mientras que la proporción de usuarios de bajo consumo cayó de un 35% a un 20% (ver Sheinbaum y Rodríguez, 1996a: 37).

Una de las aplicaciones más importantes de la electricidad de uso doméstico es la iluminación, que suele absorber entre 30% y el 40% del total. En la iluminación basada en el uso de la electricidad, se pueden obtener ahorros del orden de 50% a 75% a partir de la sustitución de focos incandescentes por compactos fluorescentes.

Con relación a las posibilidades y perspectivas de ahorro en otros usos eléctricos domésticos, se estima que las normas de consumo máximo para nuevos refrigeradores y aires acondicionados, vigentes desde comienzos de 1995, podrían traducirse en ahorros de unos 1.4 TWh y 5.6 TWh, respectivamente para el año 2000; al tiempo que podrían obtenerse ahorros de hasta 50% en el consumo de electricidad de los televisores.

En general, para el período 1993-2003 se estima que el potencial de ahorro de electricidad es de un 10% para el subsector residencial y de un 3% para el subsector comercial, considerando en este segundo subsector únicamente las aplicaciones relativas a la iluminación (ver Sheinbaum y Rodríguez, 1996a: 38).

d) Sector agropecuario

De los cuatro sectores económicos que se analizan en esta sección, el sector agropecuario, es el que muestra dimensiones más modestas, sobre todo en lo referido a su participación en el consumo energético. En 1995, este sector sólo absorbía el 2.3% del consumo final (4% en 1965) y 0.2% del consumo nacional total de energía; al tiempo que su aporte al PIB era del 7.6%²¹ (14% en 1965). De acuerdo con la información disponible, este es el sector menos intensivo en cuanto a consumo de energía (0.0567 Gcal/peso producido en 1995, a precios de 1980), y el que muestra mayor caída de la intensidad energética desde 1980, con una tasa de -12.8%.

La estructura por productos del consumo energético del sector agropecuario está dominada por el diesel (70.8%), seguido de la electricidad (24.4%); con un aporte menor de las kerosinas (3.6%) y del gas licuado (1.2%). El principal cambio registrado en los diez años transcurridos entre 1984 y 1994 fue el aumento de la participación de la electricidad (en casi 9 puntos) y del diesel (en más de siete puntos porcentuales); que tuvo como contrapartida la caída del aporte de las kerosinas en más de 15 puntos (ver SE, 1996a).

²¹ La información disponible en relación con la composición sectorial del PIB ofrece de forma agregada el aporte de los subsectores agropecuario, pesca y silvicultura.

En el caso del consumo de electricidad del sector agropecuario, la aplicación fundamental está relacionada con el bombeo de agua, que cuenta con un potencial estimado de ahorro de un 2.5% aproximadamente, según cálculos para el período 1993-2003.

Para el conjunto de los cuatro sectores antes mencionados (industria, transporte, servicios y agropecuario) el potencial de ahorro estimado de electricidad para el período 1993-2003 es de un 25%, lo que equivale a unos 40 TWh, es decir un 60% del crecimiento programado de las ventas totales de fluido eléctrico. (Sheinbaum y Rodríguez, 1996a: 40).

6.2.3. Esfuerzos institucionales para fomentar el ahorro energético

En relación con los esfuerzos institucionales en materia de ahorro y uso eficiente de la energía, pudiera afirmarse que hasta finales de la década de los años 80 el énfasis fundamental en la evolución del sector energético mexicano se puso en la expansión de la oferta de energía; de modo que sólo desde comienzos de los años 90 se ha apreciado mayor preocupación por el aprovechamiento del potencial de ahorro y uso eficiente de estos recursos

Esta preocupación en relación con la conservación energética se ha reforzado en los últimos años, sobre todo a partir de ciertos pronósticos que contemplan la posibilidad de que México se convierta en importador neto de energía en un futuro próximo, a menos que se lleven a cabo inversiones sustanciales en el sector energético nacional y se aplique una política acercada y efectiva de uso eficiente de la energía.

Como parte de los esfuerzos nacionales de ahorro y conservación energética, en septiembre de 1989 se crea la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae), con el objetivo fundamental de fungir como órgano técnico de consulta en este tema, a disposición de las dependencias y entidades de la administración pública federal, de los gobiernos estatales y municipales y de los sectores privado y social.

a) La actividad de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía

Entre las funciones básicas de la Conae se encuentran la de promover estrategias y acciones, estimular la realización de estudios, y fomentar el desarrollo tecnológico para el ahorro y uso eficiente de los recursos energéticos; la coordinación y evaluación de programas nacionales; la concertación de acciones para la participación conjunta del sector público y privado; el mantenimiento de un banco de datos sobre el uso de la energía; y la evaluación y retroalimentación al sistema. En su **Informe de Labores 1995**, esta institución da cuenta de que en sus seis primeros años de vida ha creado las bases para lograr efectos de mayor alcance en esta esfera.

Las principales líneas de acción de la Conae en materia de ahorro y uso eficiente de la energía incluyen la consideración explícita de la conservación energética en la política de precios y tarifas; la evaluación de la conveniencia de establecer esquemas de apoyo fiscal y financiero para ahorros energéticos; la realización de diagnósticos energéticos²² en los sectores de mayor consumo: industria y transporte; el fomento de la cogeneración; la promoción del establecimiento de normas de eficiencia para equipos y sistemas; la conducción de campañas de concientización, educación e información al público; entre otras.

En los últimos años, la Conae ha basado su actividad en la realización de proyectos integrados en cinco categorías básicas: definición de potenciales, demostrativos, pilotos, de gran escala y de enlace y promoción. Con relación a esta última categoría de proyectos, cabe destacar que a través de las Unidades de Enlace para la Eficiencia Energética (U3E), la Conae apoya a la industria con asesoría especializada para que las empresas logren aplicar Programas Integrales de Conservación y Ahorro de Energía (PICA), basados en una nueva cultura en el uso eficiente de los recursos energéticos.

Partiendo de la realización de 117 diagnósticos energéticos de primer nivel, que fueron seguidos por otros 17 de mayor alcance, la Conae identificó oportunidades de

²² El **diagnóstico energético** es la herramienta fundamental para saber cuánto, cómo, dónde y por qué se consume la energía dentro de una empresa, y establecer el grado de eficiencia de su utilización, para lo cual se requiere una inspección y un análisis energético detallado de los consumos y de las pérdidas de energía (SE-Conae, 1995a: 32).

conservación de energía para la pequeña y mediana industria; y de esta forma propició el logro de ahorros energéticos anuales del orden de los 500 mil barriles de petróleo crudo equivalente hasta 1994, lo que equivale a unos 30 millones de nuevos pesos al año, con un tiempo promedio de recuperación de la inversión de 1.8 años (ver **Sedesol-INE, 1994: 159-160**)

Como se mencionó antes, una de las líneas de acción más importantes de la Conae ha sido el fomento de la cogeneración²³, básicamente mediante la identificación de oportunidades y el desarrollo de proyectos demostrativos, por tratarse de sistemas con gran potencial de ahorro energético.

México, cuenta con un potencial nacional de cogeneración que oscila entre 7586 y 14229 MWe; y en el periodo 1996-2006, la Conae, a través de su Dirección de Cogeneración y Fuentes No Convencionales, prevé promover la instalación de entre 3507 y 6578 MWe de ese potencial, en los sectores industrial (68.5%), Pemex petroquímica (21.3%), y comercial (10.2%).

El monto de inversiones requerido para materializar este objetivo es del orden de 2805 a 7894 millones de dólares; lo que permitiría obtener ahorros anuales en el consumo de combustibles de unos 25 a 54 millones de barriles de petróleo aproximadamente, y reducir las emisiones de CO₂ entre 4 y 11 millones de toneladas al año (ver **SE-Conae, 1995b: xii**).

La realización de estas potencialidades depende de varios factores, tales como el marco regulatorio²⁴, la disponibilidad de capital, los costos de inversión, los precios de la electricidad y de los combustibles, entre otros. En el plano regulatorio se demanda, entre otras cosas, la adopción de políticas de fomento, que incluyan tanto

²³ La cogeneración se refiere a la producción conjunta de energía térmica y eléctrica a partir de la misma fuente de energía primaria; y puede aplicarse en la mayoría de los procesos industriales, comerciales y de servicios que requieren para su funcionamiento tanto vapor y gases calientes como electricidad. Un sistema de cogeneración aprovecha alrededor del 70% de la energía contenida en el combustible; mientras que si se obtiene la electricidad a partir de una planta termoeléctrica convencional y la energía térmica por medio de una caldera o calentador, el aprovechamiento sólo llega a un 48% (**Conae, 1996: 22**).

²⁴ Estas acciones se apoyan en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, reformada en diciembre de 1992 y su reglamento de 1993, instrumentos legales que facilitan y regulan la participación de los particulares en la generación de energía eléctrica, incluyendo la cogeneración.

incentivos especiales como simplificaciones administrativas, lo que ha estado ausente en gran medida en el caso mexicano.

Entre los beneficios directos del fomento de la cogeneración en el país se encuentran, además del ahorro de combustible y la reducción de emisiones contaminantes; la disminución de las pérdidas por concepto de transformación, transmisión y distribución de la red; la sustitución de energía eléctrica de la red; y la entrega de excedentes eléctricos al sistema.

Entre los beneficios indirectos cuentan la creación de nuevos empleos; el incremento de la inversión fija privada; apertura de un nuevo mercado de servicios de ingeniería; la contribución al desarrollo tecnológico nacional; y el aumento de la productividad y competitividad industrial, derivado de la reducción entre 20% y 65% de los costos agregados por energía en el producto terminado de las empresas (ver **Noriega, 1994**).

Como parte de los esfuerzos nacionales para promover el ahorro de energía eléctrica, la CFE estableció el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE), que tiene a su cargo las acciones para generar, transmitir y distribuir la electricidad con un mínimo de costos y de consumo de energía.

Paralelamente, y para asegurar el cumplimiento de los objetivos del PAESE en lo relativo a los usuarios de energía eléctrica, se constituyó el Fideicomiso de Apoyo al PAESE (FIDE), como un mecanismo con capacidad de administrar recursos, que cuenta con la participación activa de un grupo de actores, entre los que se encuentran representados el sector energético, el subsector eléctrico, el sector productivo (consumidores de electricidad), firmas de consultoría, instituciones generadoras de conocimientos y de formación de recursos humanos, y sociedad en general.

b) La actividad del FIDE

El FIDE es un organismo privado, sin fines de lucro, que se crea a iniciativa de la CFE. Este mecanismo cuenta con la participación de Luz y Fuerza del Centro y con el apoyo de proveedores y contratistas del sector eléctrico, de las principales cámaras empresariales y del Sindicato Unico de Trabajadores Electricistas de la República

Mexicana (SUTERM). El FIDE ha llevado a cabo todos sus proyectos mediante contratos con más de 70 firmas consultoras.

Los ahorros de electricidad que se obtienen en las empresas, como consecuencia de la aplicación de los proyectos demostrativos, generan un flujo de capital que asegura el pago del financiamiento otorgado por el FIDE. Los proyectos demostrativos conciben tanto la realización de diagnósticos energéticos como la aplicación de las medidas correctivas propuestas; y se aplican no sólo en empresas sino también en ciertas áreas de servicios municipales, como la sustitución de luminarias y lámparas de alumbrado público, sistemas de agua potable y residuales.

El objetivo básico de los proyectos es demostrar la factibilidad técnica y económica de la aplicación de medidas de ahorro de energía eléctrica, y de esta forma mostrar la rentabilidad de esas inversiones, para asegurar el efecto multiplicador de dichas inversiones y la aplicación generalizada de medidas y acciones de uso eficiente de electricidad.

La actividad del FIDE se basa en el concepto de "administración de la demanda", "gestión de la demanda" o "planeación integral de los recursos"²⁵. A diferencia de la opción de suministro de energía, que comúnmente supone la realización de pocos proyectos de gran magnitud; el ahorro energético, a partir de los programas de administración de la demanda, supone el aprovechamiento de una amplia gama de oportunidades económicamente muy atractivas pero muy difíciles de administrar.

En su sentido más amplio, la administración de la demanda se basa en la concesión de apoyos financieros mediante bonificaciones, descuentos o préstamos preferenciales, con el objetivo de promover el uso eficiente de la energía; y su función básica es propiciar la creación de un mercado de ahorro energético, donde los apoyos iniciales de que disponen los usuarios no deben ser considerados como distorsionantes siempre que tengan un propósito claramente predeterminado y un potencial significativo en cuanto a su efecto multiplicador.

²⁵ En la literatura especializada en Inglés los términos comúnmente empleados son "*Demand Side Management*" o "*Integrated Resource Planning*".

Con relación a los resultados derivados de la acción del FIDE, en el sector industrial los proyectos demostrativos han abarcado a pequeñas, medianas y grandes empresas, que se caracterizan por el uso intensivo de energía eléctrica. Entre 1990 y 1995 se llevaron a cabo proyectos en 350 empresas representativas de las entidades del país con mayor actividad industrial, y pertenecientes a las ramas industriales con mayor consumo eléctrico. Los ahorros alcanzados por los proyectos puestos en práctica en este sector oscilan entre 5% y 40% con inversiones que se recuperan en plazos de 6 a 24 meses; y en 1994 dichos ahorros ascendieron a 350 GWh en consumo y más de 80 MW de demanda.

En el sector de comercio y servicios, el FIDE apoyó, hasta mediados de 1995, la realización de 85 proyectos de ahorro de electricidad. De este total, 74 fueron proyectos demostrativos en edificios, instituciones diversas, cadenas comerciales y servicios representativos; y 11 proyectos correspondieron a la formación de comités de ahorro de energía en cámaras y asociaciones hoteleras y comerciales. Los ahorros reportados hasta 1994 oscilaron entre un 20% y un 37%, y totalizaron 18 GWh en consumo y casi 4 MW en demanda, distribuidos entre 14 entidades federativas que se caracterizan por su intensa vocación turística, fuerte actividad comercial o climas extremos.

En el sector doméstico, el FIDE ha conducido programas para el aislamiento térmico de viviendas en varias ciudades, así como programas piloto para la sustitución de focos incandescentes por lámparas compactas fluorescentes.

En este contexto, el proyecto ILUMEX²⁶, que cuenta con recursos ascendentes a 23 millones de dólares (10 millones aportados por el Banco Mundial, 10 millones por la CFE y 3 millones por el gobierno de Noruega) tiene como propósito sustituir 1.7 millones de lámparas en las ciudades de Guadalajara y Monterrey, lo que significaría un ahorro de 80 MW. Adicionalmente, se han instalado oficinas del FIDE en 12 ciudades del país con el propósito de realizar diagnósticos energéticos en el sector residencial y en pequeños establecimientos comerciales e industriales.

²⁶ ILUMEX es uno de los 27 proyectos pilotos de "aplicación conjunta", vigentes en países subdesarrollados a mediados de 1997. Sobre la "aplicación conjunta", ver epígrafe 2.3.

En el área de los servicios municipales se llevaron a cabo, con apoyo del FIDE, 87 proyectos para la optimización energética del alumbrado público hasta mediados de 1995, que involucran a diversos municipios de la República.

Este sector ha sido identificado como uno de los que muestra mayor efecto multiplicador de los proyectos. En efecto, se calcula que con una inversión de sólo 9.4 millones de nuevos pesos del FIDE hasta 1994, se promovió la inversión de otros 129 millones de nuevos pesos financiados por la banca, para fines de alumbrado público más eficiente. También en el campo de los servicios municipales, se han llevado a cabo 16 proyectos relacionados con el bombeo de agua potable y residual, que han reportado ahorros de energía eléctrica superiores al 35%.

En sentido general, los proyectos del FIDE se tradujeron en un ahorro directo de unos 1030 GWh en consumo y más de 173 MW en demanda en 1994. Adicionalmente, si se considera el efecto multiplicador de la actividad del FIDE, se estima que el ahorro logrado en México en 1990-1993 fue de unos 3345 GWh/año, que significan el 3.5% del consumo registrado en 1991.

A pesar de logros derivados de la actividad del FIDE, cabe apuntar que para potenciar estos resultados aún falta una mayor participación de fabricantes y proveedores de equipos, materiales y servicios eléctricos, una mayor presencia de las firmas consultoras y una injerencia más activa del sector financiero en esta actividad. (Treviño, 1994; Treviño y Urteaga, 1995).

Con relación a la meta nacional de ahorro de energía eléctrica para el año 2000, cabe destacar que se espera un ahorro total ascendente a 7951 GWh/año en consumo, que equivale al 7.3% de las ventas de energía eléctrica en 1994 y al consumo de los estados de Veracruz y Yucatán juntos; mientras que en términos de demanda la meta de ahorro sería de unos 1510 MW, lo que equivale al 4.8% de la capacidad instalada en 1994 y sería igual a la potencia de una planta termoeléctrica como la de Tula, en Hidalgo.

La cifra del ahorro total esperado puede desagregarse en dos grandes partidas: la correspondiente a proyectos del sector eléctrico (sistema de incentivos de CFE, proyectos demostrativos de FIDE, y reducción de pérdidas de transmisión y

distribución en las instalaciones de CFE), que asciende a 6157 GWh/año en consumo (1258 MW en demanda); y la correspondiente a otros proyectos (bombeo agrícola, instalaciones del gobierno federal y horario de verano), que se estima en unos 1794 GWh/año en consumo (252 MW en demanda).

c) Instrumentos de política para promover el ahorro de energía

Con relación a los instrumentos de política para promover el ahorro de energía, cabe destacar el desarrollo de las Normas Oficiales Mexicanas (NOMS), que son de carácter obligatorio y cobertura nacional²⁷. En este proceso, la Secretaría de Energía, la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (Secofi) y la Conae han trabajado de forma conjunta por medio del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Preservación y Uso Racional de Recursos Energéticos; y las primeras normas emitidas fueron las relativas a refrigeradores, acondicionadores de aire y motores de inducción de corriente alterna, que entraron en vigor el 1° de enero de 1995.

Un componente vital del proceso de normalización es el adecuado monitoreo del cumplimiento de las normas aprobadas nacionalmente y la vigilancia de las importaciones, para evitar que en el país existan equipos que no cumplan con las reglamentaciones acordadas.

De acuerdo con cálculos realizados por la Conae en 1995, con la aplicación de las normas referidas a 11 categorías de equipos o sistemas²⁸, en un año hipotético se alcanzaría un ahorro total de energía eléctrica de 1722 GWh, que equivaldría a 1.5% del consumo nacional y superaría el monto de los ahorros que se derivan del programa de cambio de horario de verano (**Acosta, 1995: 238**).

²⁷ El procedimiento legal está contemplado en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización de 1992, adoptada en el contexto de la adecuación a los retos derivados de la firma del Tratado de Libre Comercio para América del Norte.

²⁸ **Categorías de productos/equipos:** acondicionadores de aire tipo cuarto, refrigeradores electrodomésticos, motores eléctricos trifásicos, bombas domésticas, calentadores de agua domésticos, calderas tipo paquete, y bombas verticales. **Categorías de sistemas:** sistemas de bombeo, alumbrado en edificios no residenciales, eficiencia energética integral en edificios no residenciales, y aislamientos térmicos industriales.

En diversos estudios nacionales especializados se menciona con frecuencia la necesidad de contar con una política racional de precios que refleje las cotizaciones internacionales de los energéticos, cuando estos se comercializan internacionalmente, o sus costos de oportunidad, en caso contrario; para de esta forma estimular el uso eficiente de la energía. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que tal política si bien resulta necesaria no es suficiente ya que en muchos casos los proyectos de eficiencia energética requieren tratamiento y apoyos preferenciales, al menos inicialmente y sobre todo cuando no son elegibles para el sistema bancario.

En el **Programa de desarrollo y reestructuración del sector de la energía 1995-2000**, se reconoce como uno de los objetivos específicos: "promover el ahorro y uso eficiente de energía, tanto en las entidades del sector como en el conjunto de la planta productiva y de la sociedad". Además, en lo referido al propósito de contribuir a la competitividad global de la planta productiva se propone mejorar la prevención, control y reducción de emisiones contaminantes (SIE, 1996b: 22-24).

A la hora de evaluar el impacto probable de la transferencia internacional de tecnologías en el logro de los objetivos antes expresados, resulta particularmente preocupante el hecho de que los dos socios de México en el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica, con los cuales se tiende a concentrar cada vez más el comercio exterior mexicano, se ubican entre los países de la OCDE con más altos niveles de intensidad energética.

De 22 países desarrollados que ofrecen información comparable acerca de este indicador para 1993, EE.UU. se ubica en el 19º puesto, con un nivel de intensidad energética superior al de Suiza en 3.2 veces y mayor que el de Japón en 2.7 veces; mientras que Canadá ocupa el último lugar, con un nivel 4.2 veces mayor al de Suiza y 3.5 veces superior al de Japón (ver WRI, 1996: 286-287).

En sentido general, a pesar de los esfuerzos institucionales emprendidos durante la presente década, en materia de conservación y uso eficiente de la energía, los resultados concretos obtenidos hasta el momento han sido muy limitados, sobre todo si se comparan con las enormes potenciales de ahorro energético con que cuenta el país.

Un avance ulterior en esta dirección implica, ante todo, un mayor progreso en la identificación de las potencialidades de ahorro por sectores y regiones del país. Asimismo, se requiere acelerar el paso de la fase de identificación de potencialidades y de proyectos piloto, a una fase de generalización de experiencias con un enfoque más integral. No debe pasarse por alto que este proceso tendrá que enfrentar, necesariamente, importantes barreras financieras, tecnológicas, institucionales, e incluso culturales, por lo que se requiere de un enfoque de largo plazo y un alto grado de comprometimiento de todos los sectores de la sociedad.

6.3 Dimensión ambiental del perfil energético mexicano en relación al calentamiento global

El tema de las emisiones de gases de efecto invernadero, derivadas del sector energético, resulta doblemente importante para México, tanto desde el punto de vista de la repercusión local de las emisiones mundiales, como en lo referente a los impactos adversos de las emisiones propias.

Por un lado, si bien se espera que los aumentos de temperatura derivados del efecto invernadero global serían mayores en las latitudes medias y altas; también se pronostican aumentos significativos en las regiones tropicales. Consecuentemente, el territorio mexicano clasifica como un área de alta vulnerabilidad ante el cambio climático, debido, entre otras razones a la elevada dependencia de amplias áreas de cultivo con relación a las variaciones en los regímenes de precipitaciones. Además, como resultado del aumento gradual del calentamiento global, México probablemente será más caliente y seco que en la actualidad; y podría sufrir serias afectaciones en zonas costeras bajas, como consecuencia de la elevación del nivel del mar.

Por otro lado, tanto el predominio de los combustibles fósiles (principalmente hidrocarburos) en el balance energético nacional, como la utilización ineficiente de la leña en la mayoría de las comunidades rurales mexicanas se traducen en un elevado costo ambiental para el país.

6.3.1. Contribución de México a las emisiones de gases de efecto invernadero

En 1992 México ocupaba el 13º. lugar entre los mayores emisores de carbono²⁹, al tiempo que sus principales ciudades experimentan serios problemas de contaminación.

La utilización de los combustibles tradicionales de la biomasa, como la leña, es uno de los factores que contribuyen a la deforestación, junto a la explotación de la madera con fines comerciales y a la ampliación de la frontera agropecuaria. Del total de madera registrada con fines comerciales en 1991-93, el 67% se dedicó a fines energéticos y el restante 33% a propósitos industriales (WRI, 1996: 221).

Adicionalmente, se estima que el 40% de los problemas de contaminación del aire del país se genera en las tres principales ciudades: la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey. La Ciudad de México, escenario de uno de los problemas ecológicos más graves a nivel internacional, concentra alrededor del 25% de la industria nacional y 19% de la población, además de contar con un sistema de transporte que es responsable del 85% de la contaminación del aire. En Monterrey la contribución del sector transporte al deterioro atmosférico es del 65%, y en Guadalajara del 49% (Corbus, et. al., 1994: 19).

Según estadísticas correspondientes a 1990, el sector energético mexicano (producción y consumo de energía comercial) generó cerca de 80 millones de toneladas de carbono; y se estima que, de mantenerse las tendencias actuales, la contribución del país a la emisión del principal gas de efecto invernadero (CO₂) se incrementarían en cerca de un 40% hacia el año 2005, con relación al nivel correspondiente a 1990.

Entre 1987 y 1993 las emisiones de CO₂ asociadas al uso de energía en México se incrementaron en un 16.3%; mientras que las de NO_x, CO y CH₄ aumentaron en 17.1%, 21.2% y 13.8%, respectivamente; y las de N₂O disminuyeron en 11.8% debido a la contracción del consumo de *fuel-oil* en los sectores industrial y de transporte (Sheinbaum y Rodríguez, 1996b: 1-3).

²⁹ Se refiere a las emisiones de CO₂ derivadas de actividades industriales, que en el caso de México ascendían a 332.9 millones de toneladas métricas en ese año; es decir, 1.5% del total mundial emitido de este gas de efecto invernadero (WRI, 1996: 318).

En lo referente a la contribución de los distintos sectores económicos a las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas al sector energético, cabe señalar que, según datos de 1993, el **sector de transporte** aporta el 34% del CO₂ emitido; 46% del NO_x; 95% del CO; 83% del CH₄ y 50% del N₂O; lo que revela la significativa contribución de este sector al calentamiento de la atmósfera; como muestra la **tabla T6.3**.

Tabla T6.3
Contribución sectorial a las emisiones de GEI en México, 1993 (en %)

Sectores	CO ₂	NO _x	CO	CH ₄	N ₂ O
Agricultura	1.9	1.5	0.3	0.5	7.5
Ind. no energética	21.2	14.2	0.4	6.9	-
Ind. Energética	34.2	35.5	4.0	8.6	-
Resid.-Comercial	9.0	2.9	0.1	1.4	42.9
Transporte	33.7	45.8	95.3	82.5	49.5
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Nota: CO₂: dióxido de carbono; NO_x: óxido de nitrógeno; CO: monóxido de carbono; CH₄: metano; y N₂O: óxido nitroso.

Fuente: Elaborado a partir de: Sheinbaum y Rodríguez (1996b).

Debe tenerse en cuenta que el 65% de las emisiones de CO₂ del sector de transporte están asociadas al consumo de gasolina, que entre 1989 y 1994 aumentó de 16 millones de litros diarios a casi 20 millones de litros/día. También debe recordarse, para el caso de la ZMCM, que la principal contribución a las emisiones del sector de transporte proviene de los automóviles (47.7%), cuya carga contaminante representa cincuenta veces la del metro y 74 veces la de los trolebuses (PEF, 1996: 44-45).

Por su parte, la **industria energética** se destaca por su importante contribución a las emisiones de CO₂ (34%) y NO_x (36%); aunque debe aclararse que la mayor parte de este aporte corresponde a la producción de electricidad, que genera el 23% del CO₂ y 28% del NO_x emitido. El **sector industrial** (no energético) también muestra un significativo grado de responsabilidad con las emisiones de CO₂ (21%) y NO_x (14%); mientras que los **subsectores residencial y comercial** resaltan especialmente

por sus emisiones de N_2O (43%), imputables sobre todo (42%) a las actividades comerciales.

6.3.2. Medidas de mitigación

En estas condiciones, ha sido necesario aplicar, entre otras medidas, un Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (PICCA) para reducir y controlar los contaminantes atmosféricos, sobre todo en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM). Como resultado de las medidas adoptadas, se ha logrado controlar la tendencia alcista de ciertos contaminantes atmosféricos primarios como el plomo, el dióxido de azufre y partículas suspendidas totales; pero, en otros casos, como el del ozono troposférico, los controles no han sido efectivos y los niveles de concentración muestran con gran frecuencia valores superiores a la norma establecida (PEF, 1996: 43).

Como parte de las medidas ambientales aplicadas en el sector energético, Pemex puso en práctica en 1991 un "Paquete Ecológico", que ha sido ampliado en años más recientes y que ha estado dirigido a controlar las emisiones de gases contaminantes y a mejorar la calidad de los combustibles que se ofrecen³⁰. Las inversiones consideradas en este "Paquete Ecológico" han sido valoradas en unos 3440 millones de dólares.

Hasta 1994, las acciones del "Paquete Ecológico" de Pemex habían permitido sustituir 50% de la gasolina Nova Plus por gasolina sin plomo "Magna Sin"; disponer de diesel con un contenido de azufre de 0.05% en peso para vehículos automotrices en la ZMCM, y de 0.5% para la planta industrial a nivel nacional; así como alcanzar niveles mínimos históricos en el contenido de plomo de las gasolinas reformuladas. Se considera que, como resultado de las medidas antes expuestas, la calidad de las gasolinas que se consumen en la ZMCM resulta superior al promedio de las de EE.UU. y de la mayoría de los países de Asia y Europa.

³⁰ Debe tenerse en cuenta que una parte importante del petróleo que consume el mercado interno es un crudo pesado con 3.3% de contenido de azufre.

También cabe destacar las acciones llevadas a cabo por Pemex para promover el ahorro energético en sus propias instalaciones, lo que ha permitido obtener resultados significativos como el logrado por Pemex-Refinación, que ahorró unos 4400 barriles de petróleo crudo equivalente por día (BPCED) en 1993, a lo que se sumaron los esfuerzos de Pemex-Gas y Pemex-Petroquímica básica, que ahorraron conjuntamente cerca de 900 BPCED en ese año. No obstante, aún persiste un enorme potencial para el ahorro y el uso eficiente de la energía en la industria petrolera mexicana. (**Sedesol-INE, 1994: 179**).

Adicionalmente cabe destacar que desde 1992 se ha promovido una mayor sustitución de petróleo por gas natural, particularmente en la generación de electricidad. La Política Integral de Combustibles para el año 2005 tiene como uno de sus objetivos básicos reducir el consumo de combustóleo e incrementar el uso de gas natural tanto en refinerías como en las plantas de generación de electricidad.

En este sentido se destacan los proyectos para construir nuevas centrales eléctricas con tecnologías de ciclo combinado a base de gas natural; y las propuestas para modernizar y ampliar la infraestructura de abastecimiento de gas natural con participación privada. Asimismo, se espera un incremento significativo de la extracción³¹ y procesamiento de este recurso y la ampliación de su uso en los sectores industrial, transporte, residencial y comercial (**ver SE, 1997b**).

En el plano de la normatividad ambiental nacional, desde 1993 han sido aprobadas diversas Normas Oficiales Mexicanas referidas tanto al monitoreo de gases contaminantes, como a la regulación de las emisiones atmosféricas procedentes de fuentes fijas (ej. empresas) y móviles (ej. vehículos)³². Además, en marzo de 1996 fue presentado el Programa para mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000, que considera una inversión total de 13.1 mil millones de dólares, donde el 80.9% corresponde a fuentes públicas y el resto a la inversión privada.

³¹ En 1996 México contaba con reservas de gas natural ascendentes a 1.9 billones de metros cúbicos y una relación reservas producción de 44 años.

³² En este sentido cabe mencionar la **NOM-085-ECOL-1994**, que define los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de ciertos contaminantes; y la **NOM-086-ECOL-94**, que define las especificaciones que deben tener los combustibles que se utilizan en el territorio nacional.

A los efectos de hacer cumplir las regulaciones ambientales vigentes para el sector de transporte, en 1990 se inició el Programa Nacional de Verificación Obligatoria de Emisiones Contaminantes de los Vehículos de Autotransporte de Pasaje y Carga que circulan por caminos de jurisdicción federal; y hacia mediados de 1994 la Secretaría de Comunicaciones y Transportes había autorizado el funcionamiento de 372 Centros de Verificación de Emisiones Contaminantes a lo largo del país; de los cuales 95 operaban en el Distrito Federal y 52 en los municipios conurbados al DF. También se ha dado continuidad a otros programas como el de Renovación del Parque Vehicular de Autotransporte de Pasajeros, Turismo y Carga (Sedesol-INE, 1994: 196-198).

En adición a las normas oficiales (NOMS) y a otros instrumentos administrativos como la restricción forzada de la circulación vehicular mediante el Programa "Hoy No Circula"; algunos especialistas han sugerido, por ejemplo, la adopción de políticas de impuestos sobre los energéticos, que afectarían particularmente a los combustibles fósiles, como parte de las propuestas de instrumentos de mercado para reducir los impactos ambientales adversos.

De acuerdo con algunos estimados, la aplicación de un impuesto en México de alrededor de 10%-20% sobre el petróleo y del 20%-40% sobre el carbón mineral generarían ahorros energéticos y beneficios ambientales que compensarían en forma más que suficiente las pérdidas de bienestar que pudieran generarse inicialmente (ver Krutilla y Moncayo, 1996).

Otra propuesta, asociada a la aplicación de instrumentos económicos como mecanismos para internalizar los costos ambientales, es la referida a la adopción de sistemas de permisos de emisión negociables en el país, bajo ciertas condiciones. Así, por ejemplo el Programa de Medio Ambiente 1995-2000, en lo tocante a la modernización tecnológica para el control de la contaminación atmosférica, sugiere, para el caso de zonas prioritarias, la fijación de un límite de emisiones a nivel regional, y la distribución de certificados comercializables que pueden ser transferidos por las empresas, sin afectar el nivel regional de emisiones previamente establecido (PEF, 1996: 137).

En el plano de I-D, las principales instituciones de investigación de la rama energética en México, es decir, el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), han dedicado especial atención en los últimos años al desarrollo científico y tecnológico con impactos ambientales favorables.

El IMP tiene un importante rol en el suministro de tecnologías y equipos a las diferentes etapas del proceso productivo de la industria petrolera: exploración, explotación, refinación, transporte, distribución y almacenamiento; el ININ ha concentrado sus investigaciones en el desarrollo integral de los combustibles nucleares; y el IIE colabora con el sector eléctrico en la solución de problemas científicos y tecnológicos, mediante la generación de nuevas tecnologías y la adaptación de tecnologías importadas.

Con relación a la actividad del IMP en la esfera ambiental, cabe resaltar los esfuerzos en el desarrollo de mejores combustibles; estudios teóricos y prácticos sobre la calidad del aire; remediación de suelos; y la prueba y certificación de vehículos, dispositivos, y aditivos anticontaminantes.

Esta institución contaba en 1994 con 389 patentes nacionales y 64 extranjeras, además de 234 solicitudes pendientes en el país y cuatro en el extranjero, lo que refleja una de las tasas más altas de patentamiento en México³³ (**Sedesol-INE, 1994: 158**). El 50% de las patentes solicitadas y otorgadas a mexicanos en México entre 1970 y 1996 pertenecen al IMP, que en este último año acaparó las únicas 5 patentes concedidas a mexicanos en el país (**El Financiero, 28 enero 1997: 11**)

Algunos estudios sobre las perspectivas de la demanda energética de México hasta el año 2010 muestran una tendencia creciente de este indicador, debido en gran medida a la dinámica de los procesos de urbanización e industrialización en el país (**ver Bauer y Quintanilla; 1995b**). Para el período 1993-2000 se espera una tasa de crecimiento anual de la población urbana mexicana de 1.9%, lo que supera ampliamente al ritmo previsto en países desarrollados (0,4%) e incluso a la media de

³³ Alrededor del 30% del total de patentes pendientes y otorgadas al IMP corresponden a actividades de refinación y procesos químicos.

los países subdesarrollados (1.8%) (UNDP, 1996: 196-197). Ante estas perspectivas y en ausencia de inversiones sustanciales en fuentes alternativas el crecimiento de la demanda energética nacional sería cubierta por los hidrocarburos.

Otros estudios recientes se refieren al potencial de algunas tecnologías energéticas renovables o menos contaminantes para reducir las emisiones futuras de gases de efecto invernadero en México; partiendo de considerar que en ausencia de programas efectivos de mitigación, las emisiones de carbono de este país aumentarían en cuatro veces entre comienzos de los 90 y el año 2025.

En este contexto, Corbus, et. al (1994), sobre la base de varios criterios específicos (costos, aceptación social, requerimientos de infraestructura, disponibilidad de recursos, estado de desarrollo de la tecnología, y aspectos ambientales), destacan las potencialidades de cuatro tecnologías energéticas renovables³⁴: geotermia, biomasa con fines de cogeneración, energía eólica y micro (mini) hidroenergía; a las que se adiciona el gas natural comprimido como una alternativa prometedora en el sector de transporte, particularmente en grandes centros urbanos como la Ciudad de México. En opinión de estos autores, las cinco tecnologías antes mencionadas permitirían reducir las emisiones carbono entre 5.3% y 7.6% para el año 2025.

Según previsiones oficiales, el mercado ambiental de México hacia el año 2000 supondría inversiones en infraestructura y servicios ambientales ascendentes a unos 4500 millones de dólares, frente a 1829 millones de dólares en 1994, como muestra la **tabla T6.4**.

Como puede apreciarse, las tecnologías destinadas al control de la contaminación y a actividades de remediación ("tecnologías al final del tubo"), prácticamente cubren todo el mercado. En primer orden se ubican las tecnologías dedicadas al tratamiento de aguas residuales (alrededor del 60% del mercado); seguidas por la inversión en equipos para el control de la contaminación atmosférica de origen industrial (22%), y en tercer lugar se ubica la recolección y tratamiento de residuos sólidos (17%).

³⁴ Este estudio sólo considera las tecnologías energéticas renovables conectadas a la red de electrificación.

Tabla T6.4**Inversión en infraestructura y servicios ambientales, 1994-2000 (millones de USD de 1994)**

Tipo de inversión	1994	2000
Aguas residuales	1091	2700
Residuos sólidos	311	770
Contaminación atmosférica	401	1000
Remediación	24	40
Ahorro y generación alterna de energía	2	5
Total	1829	4515

Fuente: PEF (1996: 132).

La porción correspondiente a las inversiones en ahorro, uso eficiente de la energía y fomento de fuentes energéticas alternativas, que estarían asociadas en gran medida al desarrollo de "tecnologías limpias"³⁵ y que constituyen el centro de principal atención de esta investigación, apenas representan el 0.1% del mercado. Por tanto, si bien las previsiones antes presentadas reflejan un salto cuantitativo notable, en tanto suponen un ritmo de crecimiento promedio anual de las inversiones ambientales del orden del 20% hasta el año 2000; cualitativamente, faltaría mucho por avanzar para promover una infraestructura ambiental basada en patrones tecnológicos realmente sustentables.

En términos prospectivos, no deben perderse de vista los efectos de la reforma o reestructuración del sector energético mexicano, que ha sido puesta en marcha durante los años 90 y sobre todo luego de la firma del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica, con el propósito declarado de propiciar una expansión rápida y eficiente del sector y de atraer capitales para tales fines³⁶. Estas reformas apuntan hacia una mayor presencia de inversionistas privados, tanto nacionales como extranjeros en distintos segmentos como la petroquímica "no básica"; distribución, transporte y almacenamiento de gas y generación eléctrica.

³⁵ A diferencia de las regulaciones y tecnologías "al final del tubo", que buscan preferentemente controlar la contaminación o remediar el deterioro ecológico una vez que éste se ha producido; las "tecnologías limpias" están orientadas a corregir el problema en su origen, y por tanto su adopción implica cambios significativos en los patrones de producción y consumo, con el propósito de minimizar la contaminación.

³⁶ Para más detalles acerca de la actual reforma en el sector energético mexicano ver Rojas (1990); De la Vega (1995); Viqueira (1995); Rodríguez y Vargas (1996).

La promulgación de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía (CRE), en octubre de 1995 tuvo como propósito fortalecer el marco institucional y regulatorio para promover un cambio estructural en los mercados del gas natural, la electricidad y el gas LP. Mediante esta Ley se amplían las facultades de CRE, que fue creada en 1993 como órgano consultivo de la Secretaría de Energía (SE) y en las nuevas condiciones ha pasado a ser un órgano descentralizado de la SE, con autonomía técnica y operativa. De esta forma, se pretende brindar seguridad jurídica a los particulares que inviertan en las esferas de energía eléctrica y gas natural, según los términos de la Ley (ver CRE, 1997).

Estos cambios, en la medida en que implican una reducción de la participación del Estado en las actividades del sector, suponen nuevos retos, no sólo en lo relacionado con el control soberano de los recursos naturales estratégicos, sino además en lo referente a la integración vertical de la industria energética, la calidad de los servicios que se ofrezcan en el futuro, el uso eficiente de la energía, las implicaciones ambientales, el impacto socioeconómico de las nuevas tarifas sobre sectores mayoritarios de la población, entre otros.

Ante tales retos, el debate acerca de la necesidad de potenciar y difundir las tecnologías ambientalmente idóneas resulta vital para encausar el desarrollo futuro del sector energético mexicano sobre bases sostenibles.

Capítulo VII

Medición del grado de avance de la reestructuración energética sostenible a nivel internacional. Posición relativa de países y regiones

Tomando como punto de partida las consideraciones anteriores, en relación con las dimensiones de la reestructuración energética sostenible: problemas a resolver, principales patrones o tendencias, potencialidades/limitaciones para su avance a nivel internacional y alcance de este proceso en grupos de países seleccionados; esta sección del trabajo presenta una evaluación del grado de ajuste de 65 países a los patrones del nuevo paradigma energético entre 1973 y 1993.

La evaluación se basa en una metodología propia y en el empleo de fórmulas de cálculo ampliamente utilizadas en comparaciones internacionales, como las realizadas por el PNUD desde 1990 en su Informe sobre Desarrollo Humano. De esta forma, se ofrece una idea aproximada de la ubicación relativa de los 65 países seleccionados, con relación al grado de avance logrado por cada uno de ellos en las direcciones de la reestructuración energética sostenible. En la presentación de los resultados se destaca la posición relativa de México, en comparación con los principales grupos de países analizados.

Cabe apuntar que las direcciones o tendencias de la reestructuración energética sostenible, que constituyen el objeto de medición en estos cálculos, fueron definidas en el **Capítulo I** (epígrafe 1.3), retomadas para su exposición en el **Capítulo III** (epígrafe 3.1) y utilizadas como referencia para el análisis -sobre todo las dos tendencias principales- en los **Capítulos IV al VI**. Se trata de tres tendencias básicas:

- incremento de la eficiencia energética (elemento fundamental);
- fomento de fuentes de energía no fósiles, particularmente las no renovables;
- sustitución de combustibles fósiles más contaminantes (carbón y petróleo) por gas natural (menos contaminante), como elemento de transición entre los actuales sistemas energéticos, altamente dependientes de los combustibles fósiles, y posibles sistemas futuros con una mayor presencia de las fuentes renovables.

En esencia, el procedimiento de cálculo seguido en esta parte de la investigación consta de dos pasos generales:

1. Asociar a cada tendencia de la reestructuración energética sostenible un índice parcial, que evalúa el grado de avance o rezago relativo de cada país en esa dirección, entre 1973 y 1993. En la construcción de los tres índices parciales se utilizan tanto variables de resultado (situación al final del período evaluado) como variables que miden la dinámica (evolución) de la tendencia que se trate, durante el período de estudio;
2. Incorporar los tres índices parciales en un índice agregado (**Índice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético, IANPE**), utilizando para ello ponderaciones obtenidas a partir de criterios de sustentabilidad energética, previamente establecidos en la investigación.

El único criterio observado en la selección de los 65 países incluidos en la muestra fue la disponibilidad de información comparable internacionalmente. Consecuentemente, las regiones mejor representadas son las desarrolladas, ya que, por lo general, estos países ofrecen periódicamente informaciones energéticas comparables a nivel internacional.

Así, más de la tercera parte de los países de la muestra son industrializados; es decir, 24 países: 19 europeos (incluyendo a Hungría), 2 de Norteamérica y 3 de la región Asia-Pacífico. De los 41 países subdesarrollados considerados en la muestra, 15 son africanos, 13 asiáticos y 13 latinoamericanos o caribeños.

7.1. Composición del IANPE y ponderaciones utilizadas en su elaboración

Como se mencionó antes, con el propósito de evaluar la posición relativa de cada uno de los países considerados, en cuanto al grado de avance o retroceso en las direcciones de la reestructuración energética sostenible, se ha elaborado un **Índice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético (IANPE)**.

El **IANPE** integra la información de tres índices parciales:

- **Índice de Consumo de Gas** en la estructura de los combustibles fósiles (**ICG**), con una ponderación del 10%. Este índice mide la sustitución energética entre

combustibles fósiles, buscando aumentar la proporción de aquellos que generan menos emisiones contaminantes (gas natural).

- **Índice de utilización de Energía Comercial No Fósil (IECNF)**, con 30% de ponderación. Este índice mide la sustitución energética que favorece a combustibles no fósiles (sobre todo la energía comercial renovable).
- **Índice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible (IECES)**, con una ponderación de 60%. Este índice mide el progreso o retroceso registrado en materia de eficiencia energética.

La fórmula general aplicada es:

$$\text{IANPE} = 0.1(\text{ICG}) + 0.3(\text{IECNF}) + 0.6(\text{IECES}) \quad (7.1), (\text{ver Anexo VII.1}).$$

Las ponderaciones asignadas a cada uno de los índices parciales en la construcción del IANPE se explican a partir del análisis de cuatro factores fundamentales:

1. grado de avance relativo a nivel global de la tendencia correspondiente a cada índice;
2. contribución relativa de cada tendencia en el sentido de reducir emisiones contaminantes;
3. contribución relativa de cada tendencia al ahorro de energía, y por tanto a la calidad ambiental, en sentido general;
4. potencialidades de cada tendencia, en cuanto a su contribución a la disponibilidad futura de recursos energéticos, con una perspectiva de largo plazo: ej. carácter renovable o no del recurso energético en cuestión; disminución (ahorro) o incremento de las presiones sobre los recursos energéticos, etc.; como puede observarse en la **tabla T7.1**.

Tabla T7.1

Factores que explican las ponderaciones básicas utilizadas en la construcción del IANPE

Tendencias (A)	Factor 1 (B)	Factor 2 (C)	Factor 3 (D)	Factor 4 (E)	Media (F)	Media ajustada (G)
I	0.21	0.16	0.00	0.00	0.09	0.1
II	0.21	0.42	0.00	0.50	0.28	0.3
III	0.58	0.42	1.00	0.50	0.63	0.6
Total	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.0

Notas:

Tendencias:

I: sustitución energética entre combustibles fósiles, buscando aumentar la proporción de aquellos que generan menos emisiones contaminantes (gas natural).

II: sustitución energética que favorece a combustibles no fósiles (sobre todo la energía comercial renovable).

III: incremento de la eficiencia energética.

Factores:

1: grado de avance relativo a nivel global de la tendencia correspondiente a cada índice.

2: contribución relativa de cada tendencia en el sentido de reducir las emisiones de contaminantes (CO₂).

3: contribución relativa de cada tendencia al ahorro de energía y por tanto a la calidad ambiental, en sentido general.

4: potencialidades de cada tendencia, en cuanto a su contribución a la disponibilidad futura de recursos energéticos, con una perspectiva de largo plazo.

(A), (B);..., (G): Orden de las columnas

Fuente: Elaboración propia.

En la evaluación del **factor 1**, para cada tendencia (**tabla T7.1, columna B**), los cálculos se basaron, como indicador, en el siguiente cociente:

Avance relativo de cada tendencia = valor promedio del índice parcial que mide esa tendencia, para el conjunto de la muestra / suma de los valores promedio de los tres índices parciales, para el conjunto de la muestra.

Debe tenerse en cuenta que para el conjunto de la muestra, ICG=0.2581; IECNF=0.2532; e IECES=0.6967 (**ver Anexo VII.1**).

A partir de estos cálculos, se puede tener una idea aproximada del grado de avance relativo a nivel global de cada una de las tendencias que se estudian. La tendencia III (incremento de la eficiencia energética) fue la que registró mayor avance relativo a nivel global, durante 1973-93, con una contribución relativa del 58%; seguida por la sustitución de carbón y petróleo por gas natural (tendencia I) y la sustitución de combustibles fósiles (tendencia II), cada una con un aporte relativo del 21%.

El menor avance relativo de las tendencias I y II en el análisis del factor 1 está

relacionado, al menos parcialmente, con los límites que impone la estructura de las reservas energéticas de cada país al avance en cada una de estas dos tendencias.

El análisis del **factor 2 (tabla T7.1, columna C)** revela la menor contribución relativa del gas (tendencia I) a la reducción de emisiones contaminantes, con un 16%; en comparación con las otras dos tendencias, donde el aporte relativo fue del 42% en cada caso¹.

Sólo se contabilizan las emisiones de carbono o CO₂ -principal gas de efecto invernadero-, como indicador de emisiones contaminantes, lo que resulta suficiente, como una primera aproximación, a los efectos de este análisis que está sesgado a favor de las fuentes energéticas que contribuyen a reducir emisiones de gases de efecto invernadero.

Según los cálculos efectuados hasta ahora, se considera como positiva la sustitución de combustibles fósiles por otras fuentes que contribuyen a reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como la hidroenergía, geotermia, nuclear y otras; aunque la variante óptima estaría dada por el ahorro de energía.

Un estudio más integral debe considerar, como se expuso en capítulos anteriores, que existen otras emisiones contaminantes e implicaciones ecológicas adversas derivadas del consumo de energía en general. Algunas fuentes de energía comercial no fósiles también registran impactos adversos significativos sobre el medio ambiente; sobre todo en los casos de la energía nuclear y el aprovechamiento de hidroenergía en gran escala.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se introduce el análisis

¹ Se considera, como base referencial para el cálculo, que con el consumo de un GJ de energía proveniente del carbón se emiten 25 kg de carbono (C) a la atmósfera; 20 kg de C si la fuente es petróleo y 15 kg de C si el combustible empleado es gas (ver IPCC, 1996: 39). Por tanto, la sustitución de un GJ combinado de carbón y petróleo por un GJ de gas natural (tendencia I), reduciría las emisiones de carbono en I = 7.5 kg; la sustitución de un GJ combinado de combustibles fósiles por un GJ generado con fuentes renovables o energía nuclear (tendencia II), reduciría las emisiones de carbono en II = 20 kg, aproximadamente; y el ahorro de un GJ combinado de combustibles fósiles (tendencia III), también reduciría las emisiones de carbono en III = 20 kg. La contribución relativa de cada tendencia a la reducción de emisiones de carbono o de CO₂ (CREI) sería igual a: $CREI = i / (I+II+III)$; donde i = I, II, III.

del **factor 3 (tabla T7.1, columna D)**², donde queda evidenciado que únicamente la tendencia III hace una contribución real al ahorro energético, lo que elimina los distintos riesgos ambientales asociados tanto a combustibles fósiles como a fuentes renovables y a la energía nuclear. La idea que subyace en el análisis de este factor es que la energía más barata y más limpia es la que se logra ahorrar.

Por último, la información referida al **factor 4 (tabla T7.1, columna E)** muestra, con relación a la tendencia III, las enormes potencialidades existentes para incrementar la eficiencia energética a nivel internacional por la vía del ahorro, lo que disminuye las presiones de consumo sobre la disponibilidad futura de recursos energéticos. En lo referido a la tendencia II se evidencia el carácter renovable de la mayor parte de los combustibles no fósiles, a diferencia del gas natural (tendencia I) que es una fuente de energía no renovable.

Consecuentemente, al evaluar las potencialidades de cada tendencia, en términos de su contribución a la disponibilidad de recursos con una perspectiva de largo plazo, no se considera como significativa la contribución relativa de la tendencia I³, y a las tendencias II y III se les asigna 50% en cada caso.

Las ponderaciones que se presentan en la **tabla T7.1, columna F** resultan del promedio simple de los valores correspondientes a las **columnas B a la E**; y en la **columna G** se muestran las ponderaciones ajustadas por redondeo, que son las realmente utilizadas en la elaboración del índice, con el propósito de simplificar las operaciones.

Los cálculos anteriores, al igual que muchos otros de esta naturaleza, no están exentos de las lógicas limitaciones derivadas de la imposibilidad de cuantificar en toda su dimensión los criterios básicos considerados, máxime si se tiene en cuenta el importante componente cualitativo que tienen las tendencias y factores que

² Se considera como base referencial para el cálculo, por ejemplo, la sustitución de un GJ de energía basada en carbón y petróleo por un GJ de energía basado en gas natural (tendencia I); la sustitución de un GJ de energía basado en combustibles fósiles por un GJ de energía basado en fuentes renovables o nuclear (tendencia II); y el ahorro de un GJ de energía (tendencia III).

³ Este criterio no debe ser interpretado como una subestimación de las potencialidades futuras del gas natural, sobre todo si se analiza en comparación con otros combustibles fósiles; pero en este caso se le compara con recursos que son renovables y con la opción de ahorrar energía.

se miden.

En todo caso, debe tomarse en consideración que las ponderaciones utilizadas para integrar los tres índices parciales (ICG, IECNF e IECES) al IANPE, a pesar de sus limitaciones; permiten mejorar significativamente los resultados obtenidos, a diferencia de un procedimiento no discriminatorio que consistiría en calcular el IANPE como promedio simple de los tres índices parciales antes mencionados.

7.2. Índices parciales utilizados en la elaboración del IANPE

Como se expuso antes, el IANPE se obtiene a partir de la agregación de tres índices parciales: Índice de Consumo de Gas (ICG), Índice de Consumo de Energía Comercial No Fósil (IECNF) e Índice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible (IECES).

7.2.1. Índice de Consumo de Gas (ICG)

La **sustitución energética entre combustibles fósiles**, que tiende a favorecer al gas natural con respecto al petróleo y, sobre todo, con relación al carbón, se evalúa con el ICG, que participa en el índice agregado (IANPE) con una ponderación del 10%.

Como se analizó anteriormente, esta ponderación relativamente baja se explica por el hecho de que el ICG sólo se refiere a cambios de proporciones entre combustibles fósiles, que no contribuyen a incrementar la parte correspondiente a las energías renovables o no fósiles dentro del balance energético total.

Esta tendencia se basa en las potencialidades del gas natural como combustible fósil más limpio y como posible puente entre los actuales sistemas energéticos, basados preferentemente en los combustibles fósiles, y los posibles sistemas energéticos futuros, con mayor presencia de fuentes renovables.

En la elaboración del ICG se consideran dos variables básicas:

X_1 = Parte correspondiente al gas natural dentro de los combustibles fósiles, al final del período (1993);

X_2 = Variación de la proporción gas natural/combustibles fósiles en 1973-93 (en puntos porcentuales).

Estas variables fueron homogeneizadas para su utilización en los cálculos ulteriores, mediante la construcción de dos índices primarios, según la fórmula siguiente (7.2):

$I_{xi} = (\text{valor real de } Xi - \text{valor mínimo de } Xi) / (\text{valor máximo de } Xi - \text{valor mínimo de } Xi)^4$; donde I_{xi} es el índice primario de la variable Xi , con $i = 1; 2$. Los valores reales de las variables son los datos correspondientes a cada país (ver Anexo VII.2).

La fórmula antes presentada (7.2), permite calcular la ubicación relativa de cada país en la variable que se evalúa, con relación a los valores extremos de dicha variable en el conjunto de países.

a) Índice I_{x1} : Indicador relativo de la participación del gas natural dentro de los combustibles fósiles en 1993

Valor máximo de $X_1 = 0.8241$ (82.41%, en Trinidad-Tobago).

Valor mínimo de $X_1 = 0$ (Benin, Camerún, Ecuador, Ghana, Guatemala, Costa de Marfil, Jamaica, Kenya, Nepal, Paraguay, Filipinas, Senegal, Sri Lanka, Tanzania, Zambia, Uruguay, Zimbabwe, Islandia y Portugal).

Un dato significativo que se deriva de este análisis preliminar de los valores extremos de X_1 y X_2 es el elevado número de países (29.2% de la muestra) que no utilizan gas natural como fuente de energía comercial.

En la elaboración del ICG, el índice primario I_{x1} se incorpora con una ponderación del 60%, por tratarse de un indicador de resultado al final del período que se considera⁵.

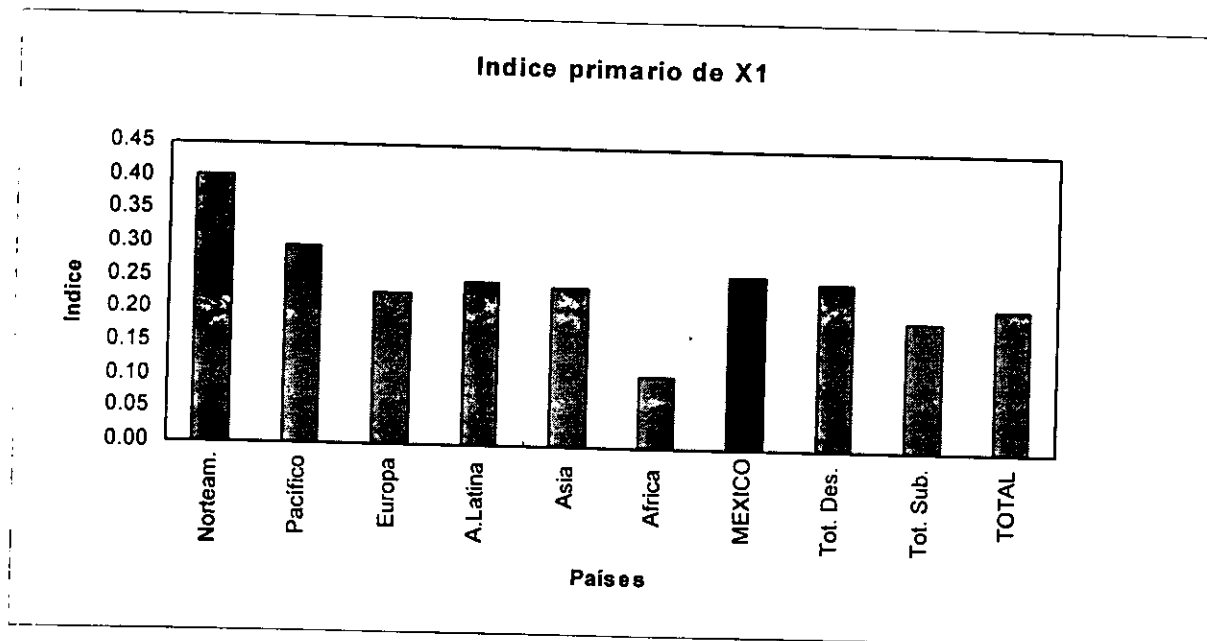
⁴ Esta fórmula fue tomada de los cálculos del Índice de Desarrollo Humano (IDH) del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, 1996).

⁵ A los efectos de este trabajo, en la elaboración del ICG y del IECNF, a los indicadores de resultado al final del período (I_{x1} e I_{x3}) se les asigna una ponderación del 60%, que resulta mayor que la ponderación de 40% asignada a los indicadores de cambio tendencial o dinámica (I_{x2} e I_{x4}). La asignación de estas ponderaciones diferenciadas, en lugar de calcular un promedio simple, sólo pretende reflejar un sesgo a favor de los indicadores de resultado al final del período, que reflejan la situación real de las variables de referencia en cada país, en un momento dado.

Los cinco países que encabezan el listado de I_{X1} son Trinidad-Tobago, Bangladesh, Argelia, Myanmar y Venezuela, donde el gas natural representaba entre 50% y 83% en la composición de los combustibles fósiles en 1993. Si bien las primeras posiciones están dominadas por países subdesarrollados; como promedio el I_{X1} de los países desarrollados (0.2533) supera a la media de las naciones subdesarrolladas (0.1947).

Como revela el **gráfico G7.1**, la región que como promedio muestra un mayor I_{X1} es Norteamérica (0.4015), pero incluso en esa región el índice primario muestra un nivel que apenas supera el 40%. África, con un registro de sólo 0.1068 se ubica al final de las seis áreas consideradas.

Gráfico G7.1



Fuente: Elaboración propia.

En este índice primario **México** ocupó la posición 23°, con un registro de 0.2619, que supera a la media total, e incluso al promedio correspondiente a los países industrializados. En 1993 el gas natural representaba alrededor del 22% de los combustibles fósiles que consumió el país en ese año, lo que explica su ubicación relativamente positiva en ese indicador. En el contexto latinoamericano y caribeño, de

los 13 países considerados, México fue superado por Trinidad-Tobago, Venezuela, Argentina y Bolivia.

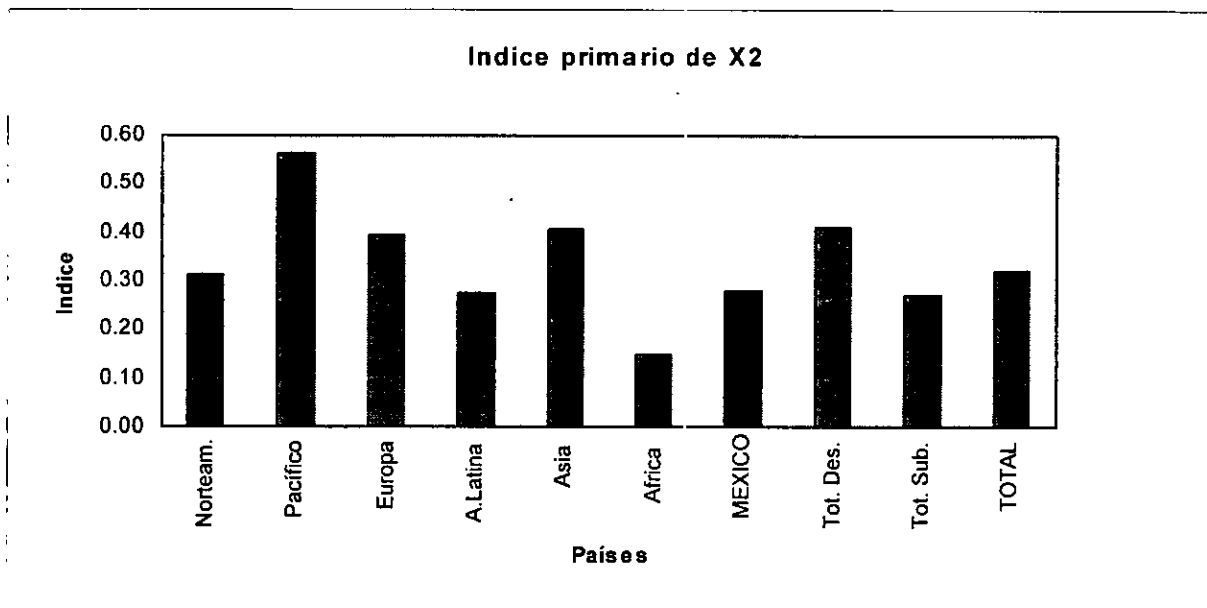
b) Índice I_{x2} : Indicador relativo de la dinámica de sustitución de carbón y petróleo por gas en 1973-93

Valor máximo de $X_2 = 0.4928$ (49.28 puntos porcentuales, en Myanmar).

Valor mínimo de $X_2 = -0.1680$ (-16.80 puntos, en Gabón)

El índice primario I_{x2} se incorpora al ICG con una ponderación del 40%, por tratarse de un indicador de cambio tendencial (ver nota al pie No. 5 de este capítulo). Los países que ocupan las primeras posiciones son Myanmar, Nueva Zelanda, Bangladesh, Indonesia y Egipto. En estos cinco países el incremento del aporte del gas natural en la composición de los combustibles fósiles en 1973-93 osciló entre 30 y 50 puntos porcentuales. Para los países desarrollados, el I_{x2} promedio es de 0.4096 y para los subdesarrollados de 0.2708 (ver gráfico G7.2).

Gráfico G7.2



Fuente: Elaboración propia.

De las seis áreas geográficas estudiadas, los países desarrollados de la zona

del Pacífico se ubican al frente con registro de 0.5626 y Africa se sitúa a la zaga con 0.1486. Obsérvese que, entre las regiones subdesarrolladas, Asia mostró el mayor registro (40.7%), con un índice que incluso supera el nivel de áreas desarrolladas como Europa (39.6%) y Norteamérica (31.1%), de donde se infiere que la sustitución de carbón y petróleo por gas ha sido un fenómeno eminentemente asiático, en el período que se evalúa.

Debe tenerse en cuenta que los países que registraron incrementos en la participación del gas natural en la composición de los combustibles fósiles, entre 1973 y 1993, se ubican en las primeras 40 posiciones, correspondiendo a Grecia el puesto 40º, con un registro de 0.2605.

En este índice primario **México** se ubica en el 39º lugar, con un registro de 0.2798; es decir, un nivel ligeramente superior a la media de los países subdesarrollados, pero inferior al promedio total y muy por debajo de la media de los países industrializados.

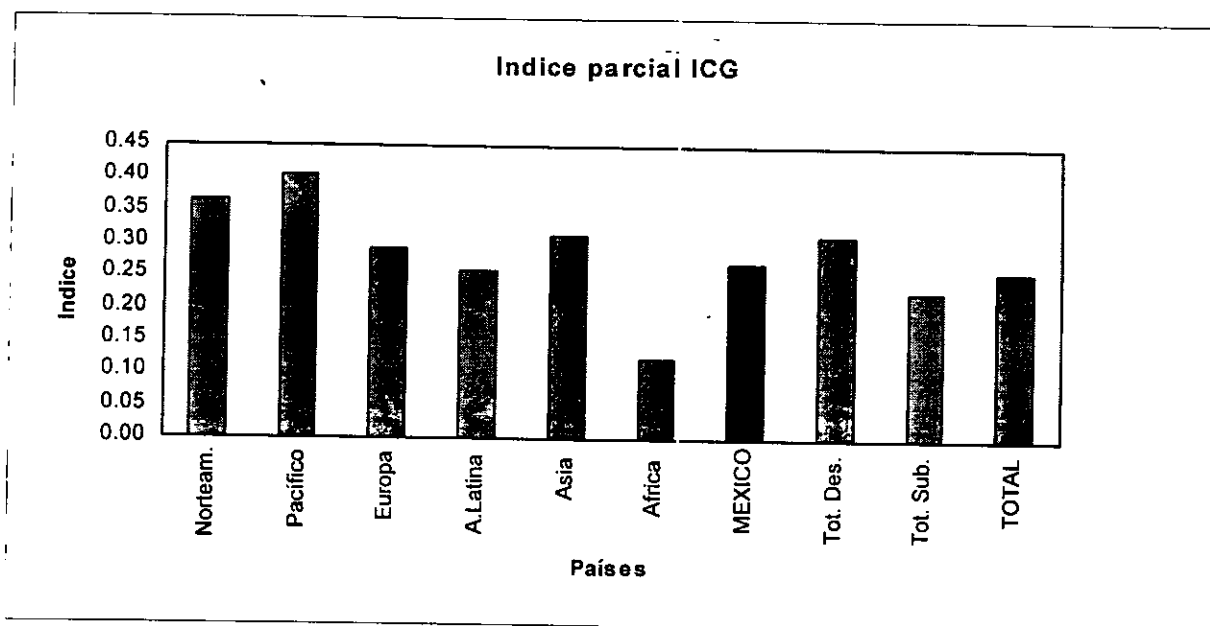
Debe tenerse en cuenta que entre 1973 y 1993 la participación del gas natural en el consumo de combustibles fósiles de México se incrementó en menos de 2 puntos porcentuales. Si se cumplen los programas actuales, dirigidos a fomentar la utilización de esta fuente energética en el país; esta situación pudiera cambiar en la próxima década.

c) Índice de Consumo de Gas: agregación parcial

ICG = 0.6(I_{x1}) + 0.4(I_{x2}), para cada país. (7.3):

En los cálculos agregados del **ICG** el número de países subdesarrollados ubicados en las veinte primeras posiciones asciende a 12, destacándose los casos de Bangladesh (1º lugar), Trinidad-Tobago (2º), Myanmar (3º), Argelia (4º) y Argentina (6º). En estos países la participación del gas natural en la composición de los combustibles fósiles empleados oscilaba entre 45% y 83% en 1993, como resultado de los incrementos de dicho aporte, entre 20 y 50 puntos porcentuales, en los veinte años analizados.

Gráfico G7.3



Fuente: Elaboración propia

Los tres países desarrollados con mejor calificación en este índice parcial son Nueva Zelanda (5º lugar), Hungría (7º) y Holanda (12º); y como promedio, el ICG de los países industrializados (0.3162) supera al de las naciones subdesarrolladas (0.2263).

Los resultados parciales aportados por el ICG (**gráfico G7.3**), revelan de un lado que los mayores registros corresponden a las áreas desarrolladas y a Asia, dentro del mundo subdesarrollado, con un evidente retraso en el continente africano. **México** ocupó el lugar 32º a nivel internacional, y la 5ª mejor ubicación entre los países latinoamericanos y caribeños, con un registro de 0.2691, que supera a la media de los países subdesarrollados y al promedio total, pero queda a la zaga de los países industrializados.

7.2.2. Índice de Consumo de Energía Comercial No Fósil (IECNF)

El IECNF mide la sustitución energética orientada a disminuir la proporción total de los combustibles fósiles y aumentar la parte de aquellos portadores energéticos que contribuyen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (hidroenergía,

geotermia, nuclear, solar y eólica), por lo que se le asigna una ponderación del 30%, mayor a la del ICG, en el índice agregado (IANPE). No se le asigna una ponderación más elevada al IECNF, en la composición del IANPE, debido a varias limitaciones, mencionadas en el epígrafe 7.1:

- incluye fuentes energéticas que, si bien contribuyen a reducir significativamente las emisiones gases de efecto invernadero, registran impactos adversos significativos sobre el medio ambiente, como son los casos de la energía nuclear y el aprovechamiento de la hidroenergía a gran escala;
- el progreso registrado en la tendencia que mide el IECNF fue sumamente modesto a nivel global en 1973-93;
- sólo considera a las fuentes de energía comercial diferentes a los combustibles fósiles; es decir, no incluye a ciertos recursos energéticos no comerciales que se utilizan de manera sostenible, debido a imperfecciones de las estadísticas internacionales. En efecto, las estadísticas disponibles sobre las fuentes tradicionales, como leña, carbón vegetal, bagazo y otros residuos, no ofrecen desagregación alguna entre aquellos recursos que son utilizados bajo condiciones de sustentabilidad y aquellos que no.

El IECNF considera dos variables básicas:

X_3 = Parte correspondiente a los portadores energéticos no fósiles dentro de la energía comercial demandada al final del período (1993);

X_4 = Variación de la proporción de las energías no fósiles en el balance energético comercial entre 1973 y 1993, en puntos porcentuales.

Las variables X_3 y X_4 también fueron homogeneizadas para su utilización en cálculos posteriores, mediante la construcción de índices primarios, según la fórmula (7.2); donde I_{xi} es el índice primario de la variable X_i , con $i=3;4$ (ver Anexo VII.3).

a) Índice I_{x3} : Indicador relativo de la participación de las energías no fósiles en el balance energético de 1993

Valor máximo de X_3 = 0.7444 (74.44%, en Paraguay).

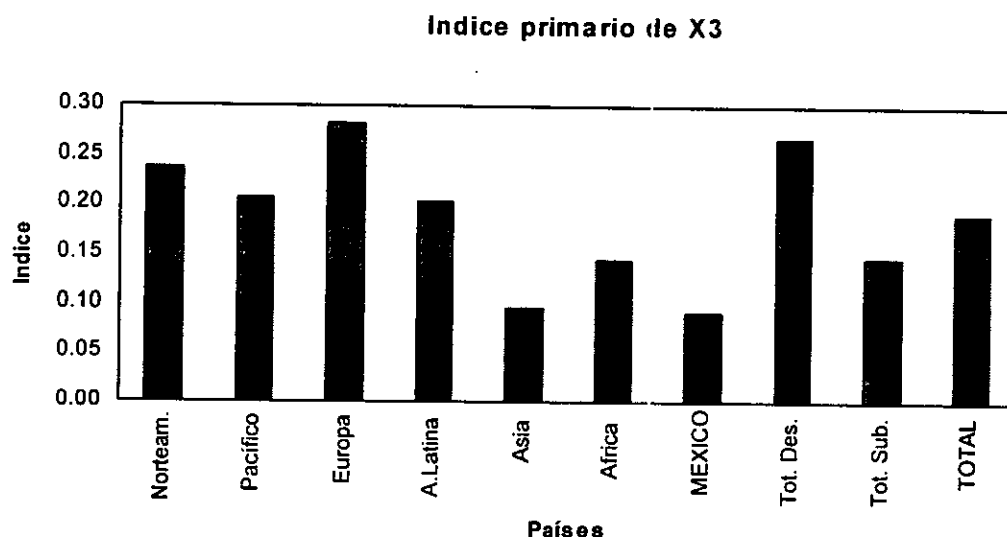
Valor mínimo de X_3 = 0 (Benin, Senegal y Trinidad-Tobago).

En la elaboración del IECNF, el índice primario I_{x3} se incorpora con una ponderación del 60% por tratarse de un indicador parcial de resultado (ver nota al pie No. 5 de este capítulo).

Los países que se sitúan en las cinco primeras posiciones son Paraguay, Islandia, Suecia, Zambia y Noruega, donde las fuentes de energía diferentes a los combustibles fósiles representaban entre 45% y 75% del balance energético comercial en 1993. Para el conjunto de países desarrollados, el I_{x3} (0.2680) supera al nivel medio de las naciones subdesarrolladas (0.1466).

Como se observa en el gráfico G7.4, en ninguna de las áreas geográficas estudiadas el valor de este índice primario supera el 30%, lo que corrobora la idea acerca de la limitada participación actual de las fuentes energéticas no fósiles en el balance de energía comercial. En el área desarrollada se destaca Europa con el mejor marcador (28.1%); mientras que en el mundo subdesarrollado, los índices correspondientes a América Latina (20.3%) y África (14.4%) se explican a partir de unos pocos proyectos de gran envergadura en el campo de las energías alternativas, particularmente hidroelectricidad, emprendidos en la década de los 70.

Gráfico G7.4



Fuente: Elaboración propia.

México se ubicó en el lugar 37° (10ª posición en el contexto latinoamericano, de 13 países considerados), con registro de 9.2%, muy inferior a la media total y al promedio de los países subdesarrollados, lo que revela el predominio de los combustibles fósiles en el balance de energía comercial de este país (93.1% en 1993).

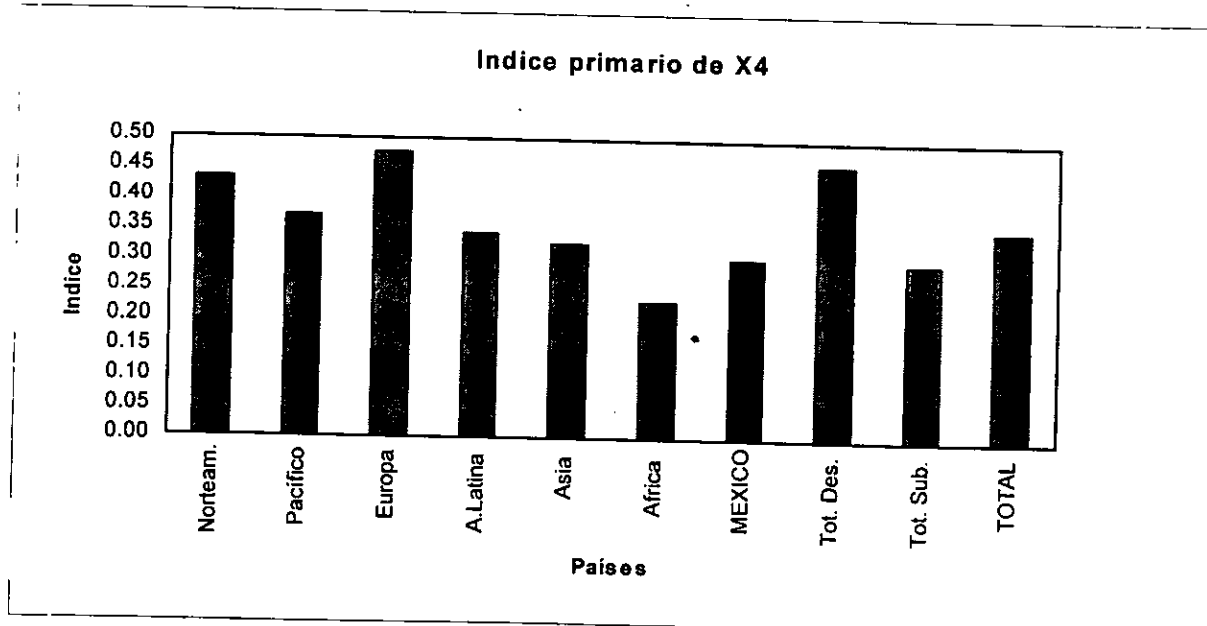
b) Índice I_{X4} : Indicador relativo de la dinámica de sustitución de combustibles fósiles en 1973-93

Valor máximo de $X_4 = 0.5461$ (54.61 puntos porcentuales, en Paraguay).

Valor mínimo de $X_4 = -0.2503$ (-25.03 puntos, en Camerún).

El índice primario I_{X4} se introduce al cálculo del IECNF con una ponderación del 40%, por tratarse de un indicador de cambio tendencial (ver nota al pie No. 5 de este capítulo); y los países que se ubican en los cinco primeros lugares son Paraguay, Suecia, Islandia, Francia y Finlandia. En estos países, el aumento de la participación de las fuentes de energía no fósiles en el balance de energía comercial entre 1973 y 1993 osciló entre 20 y 55 puntos porcentuales. El I_{X4} promedio de los países desarrollados es de 0.4596, muy superior al de las naciones en desarrollo (0.2974).

Gráfico G7.5



Fuente: Elaboración propia.

El **gráfico G7.5** muestra que en ninguna de las regiones geográficas comparadas el I_{x4} registró un nivel promedio superior al 50%. Europa despunta como la región con mayor grado de avance promedio en esta tendencia y África, como la más rezagada.

En el análisis de I_{x4} debe tenerse en cuenta que los países que registraron incrementos en la participación de las fuentes no fósiles en el balance de energía comercial se ubican en las primeras 34 posiciones, correspondiendo a Indonesia el 34º lugar, con un registro de 0.3144.

En este índice primario, **México** ocupó la 42ª posición (8º puesto en la región latinoamericana y caribeña), con un registro de 0.3040; es decir, se ubica entre los países que registraron caídas en la participación de las fuentes no fósiles en el balance de energía comercial entre 1973 y 1993, aunque hay alrededor de una veintena de países que experimentaron reducciones superiores a la de México. En el caso mexicano, la caída reportada fue de casi 1%.

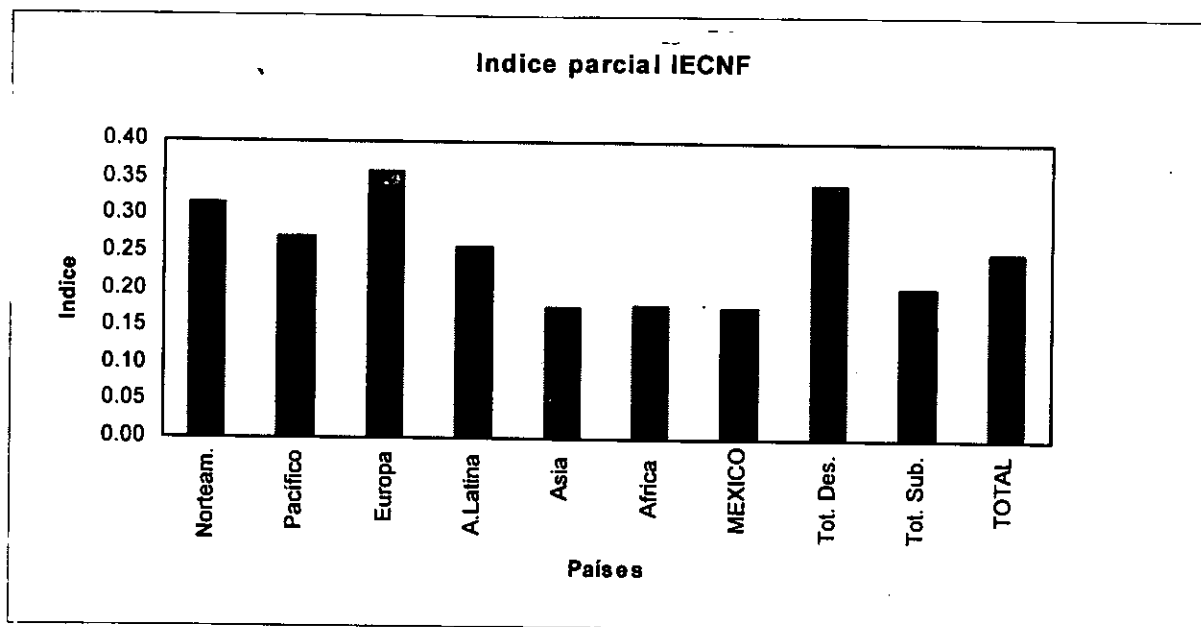
c) Índice de Consumo de Energía Comercial No Fósil: agregación parcial

IECNF = $0.6(I_{x3}) + 0.4(I_{x4})$; para cada país (7.4):

El **IECNF** es encabezado por Paraguay e incluye, entre los veinte primeros lugares, a otros siete países subdesarrollados que tienen una alta dependencia de las energías renovables en el balance energético comercial, como Zambia (47%); Uruguay y Ghana (33%); Filipinas (25%); y Kenia, Tanzania y Sri Lanka (17%).

Los tres países desarrollados mejor ubicados en esta tendencia son Islandia, Suecia y Francia. El segundo lugar de Islandia se explica, básicamente, por el incremento de las energías comerciales renovables en 40 puntos porcentuales; mientras que Suecia (3º lugar) y Francia (4º lugar) deben sus ubicaciones a la energía nuclear, con aumentos de casi 40 puntos porcentuales en la composición del balance energético, en ambos casos. Como promedio, el **IECNF** de las naciones industrializadas (0.3447) se mantuvo por encima del nivel correspondiente a los países subdesarrollados (0.2032).

Gráfico G7.6



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el **gráfico G7.6**, en ninguna de las regiones consideradas el nivel del IECNF superó el 40%, destacándose Europa en la primera posición con un registro del 36%. **México**, con índice del 17.7% se ubicó en el puesto 37° (10ª posición en el contexto latinoamericano y caribeño).

7.2.3. Índice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible (IECES)

El Índice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible (IECES) se refiere básicamente al comportamiento de la intensidad energética⁶ y al grado de cobertura energética sostenible en el período que se analiza. A este índice parcial se le asignó la mayor ponderación (60%), a la hora de elaborar el índice agregado (IANPE), ya que, como se expuso anteriormente, la eficiencia energética es el aspecto clave del nuevo paradigma energético, y el área en que se registraron mayores progresos en los veinte

⁶ Como se señala en el Capítulo I, la evolución de la intensidad energética de un país no sólo refleja variaciones en la eficiencia energética, sino también cambios en la estructura de la economía. En este caso, el IECES se refiere, básicamente, al comportamiento de la intensidad energética en 1973-93, asumiendo que tanto los incrementos de la eficiencia como los cambios estructurales que se traduzcan en una reducción de la intensidad energética favorecen el ajuste a los patrones del nuevo paradigma energético.

años transcurridos entre 1973 y 1993. Los cálculos del IECES se refieren en todos los casos a la energía total (energía comercial más fuentes tradicionales de energía).

En la elaboración del IECES se consideran tres variables básicas:

X_5 = Intensidad energética al final del período, expresado en MJ/dólar de PIB (dólares de 1987);

X_6 = Índice de cambio de la intensidad energética entre 1973 y 1993;

X_7 = Nivel del consumo de energía per cápita ajustado en 1993 (kg de petróleo equivalente).

Los valores de X_7 se obtuvieron a partir del ajuste de los datos del consumo de energía total (comercial + tradicional) per cápita, aplicando la fórmula de utilidad marginal para descontar aquellos datos que superan un límite (y^*) predeterminado. Se utiliza como límite (y^*) el nivel de 1000 kg de petróleo equivalente, por considerarse como suficiente para asegurar un grado razonable de desarrollo, asumiendo su utilización eficiente tanto en países desarrollados como subdesarrollados⁷ (Suárez, 1995: 20).

Fórmula de utilidad marginal (7.5), empleada para obtener los valores de X_7 :

$X_7 = y$ para $0 < y < y^*$; donde y es el consumo energético per cápita sin ajustar.

$X_7 = y^* + 2\{(y-y^*)^{1/2}\}$; para $y^* < y < 2y^*$;

$X_7 = y^* + 2(y^{1/2}) + 3\{(y-2y^*)^{1/3}\}$; para $2y^* < y < 3y^*$; y así, sucesivamente (UNDP, 1996: 123).

La utilización de datos referidos al consumo energético total (comercial + tradicional) y la introducción de la variable X_7 en el cálculo del IECES buscan atenuar las limitaciones que presenta la variable intensidad energética para hacer comparaciones entre países con niveles muy diferentes de desarrollo socioeconómico y de consumo energético per cápita.

Las variables X_5 , X_6 y X_7 fueron homogeneizadas para su utilización en los cálculos posteriores, mediante la elaboración de índices primarios (I_x) para cada una de ellas. Considerando una relación inversa entre intensidad y eficiencia energética,

⁷ A partir de ese valor se asume una utilidad marginal decreciente, para cada unidad adicional de energía consumida.

los índices primarios I_{X5} e I_{X6} se obtuvieron mediante la siguiente fórmula (7.6):

$I_{Xi} = 1 - \{(\text{valor real de } Xi - \text{valor mínimo de } Xi) / (\text{valor máximo de } Xi - \text{valor mínimo de } Xi)\}$; $i=5;6$. El índice primario I_{X7} se obtuvo según la fórmula (7.2) (ver Anexo VII.4).

a) Índice I_{X5} : Indicador relativo del nivel de eficiencia energética en 1993

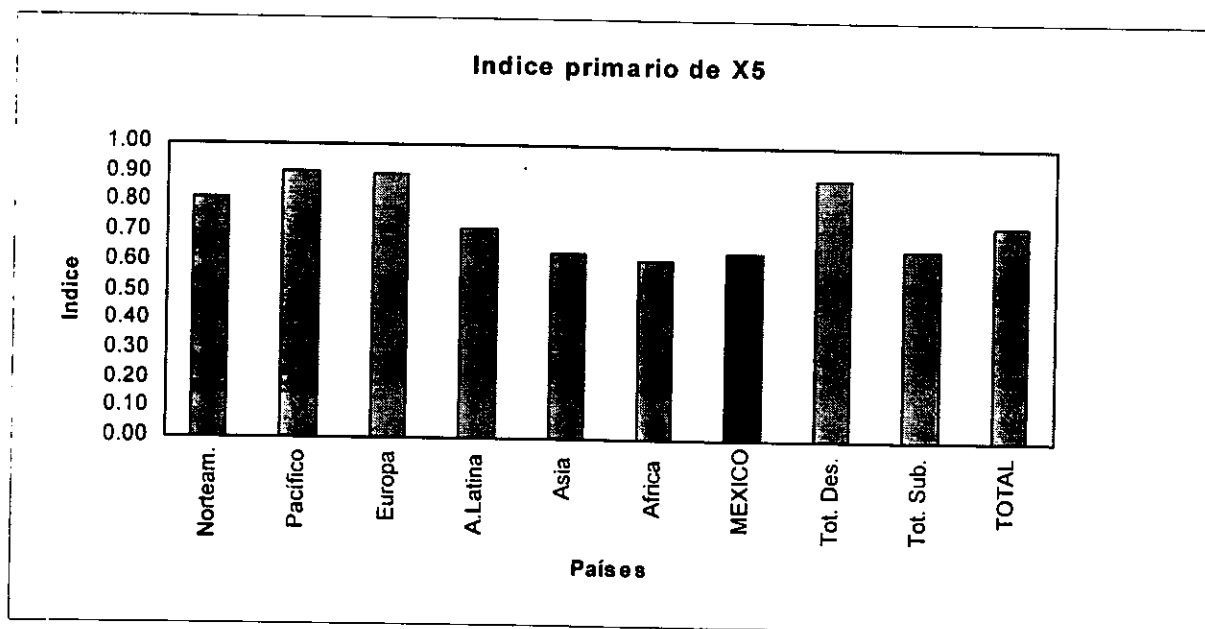
Valor máximo de $X_5 = 78.08$ MJ/dólar de PIB (Zambia);

Valor mínimo de $X_5 = 5.07$ MJ/dólar de PIB (Suiza);

Los países que ocupan las primeras posiciones en el I_{X5} son Suiza, Japón, Dinamarca, Austria e Italia. Para el conjunto de los países desarrollados este índice primario promedia 0.8907; mientras que para las naciones subdesarrolladas el nivel correspondiente es de 0.6501.

Como muestra el gráfico G7.7, las regiones con más bajos niveles de intensidad energética son las desarrolladas, con niveles de I_{X5} que superan el 80% en los tres casos considerados. Los países industrializados de la zona Pacífico se ubican en la primera posición (90.3%), y Africa en el último puesto (61.1%).

Gráfico G7.7



Fuente: Elaboración propia.

México ocupó el lugar 51° (11ª posición entre los países latinoamericanos y caribeños), con un índice del 63.8%, que resulta inferior a la media total y al promedio de los países subdesarrollados. Debe recordarse que el elevado grado de intensidad energética es uno de los principales problemas estructurales del sector energético mexicano.

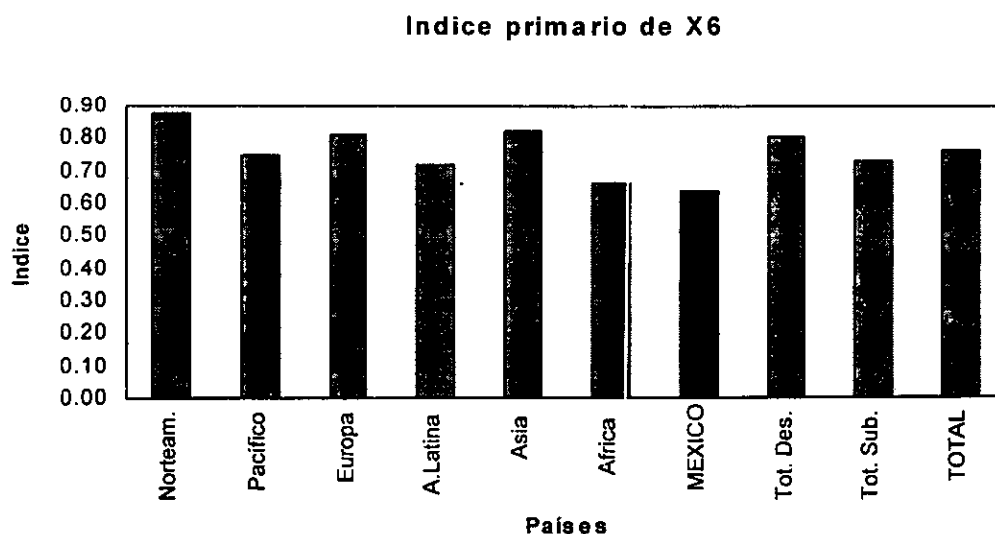
b) Índice I_{X6} : Indicador relativo de la dinámica de la eficiencia energética en 1973-93

Valor máximo de X_6 = 2.4938 (249.38% del nivel de 1973, en Argelia);

Valor mínimo de X_6 = 0.5420 (54.20% del nivel de 1973, en China);

En los cálculos del I_{X6} , los países que se sitúan en los primeros lugares son China, Alemania, Sri Lanka, Benin y Gabón. En estas economías, la intensidad energética total se redujo entre 30% y 50% entre 1973 y 1993. El I_{X6} promedio es de 0.8047 para los países desarrollados, y de 0.7296 para los subdesarrollados.

Gráfico G7.8



Fuente: Elaboración propia.

El **gráfico G7.8** revela que Norteamérica es la región que muestra una mejor

ubicación en cuanto a reducción de la intensidad energética entre 1973 y 1993, con un índice del 87.4%; en tanto Africa (66%) exhibió el menor registro promedio.

Debe tenerse en cuenta que los países que reportaron caídas en la intensidad energética entre 1973 y 1993 se ubican en las primeras 37 posiciones, correspondiendo a Zimbabwe el 37º lugar, con un registro de 0.7684.

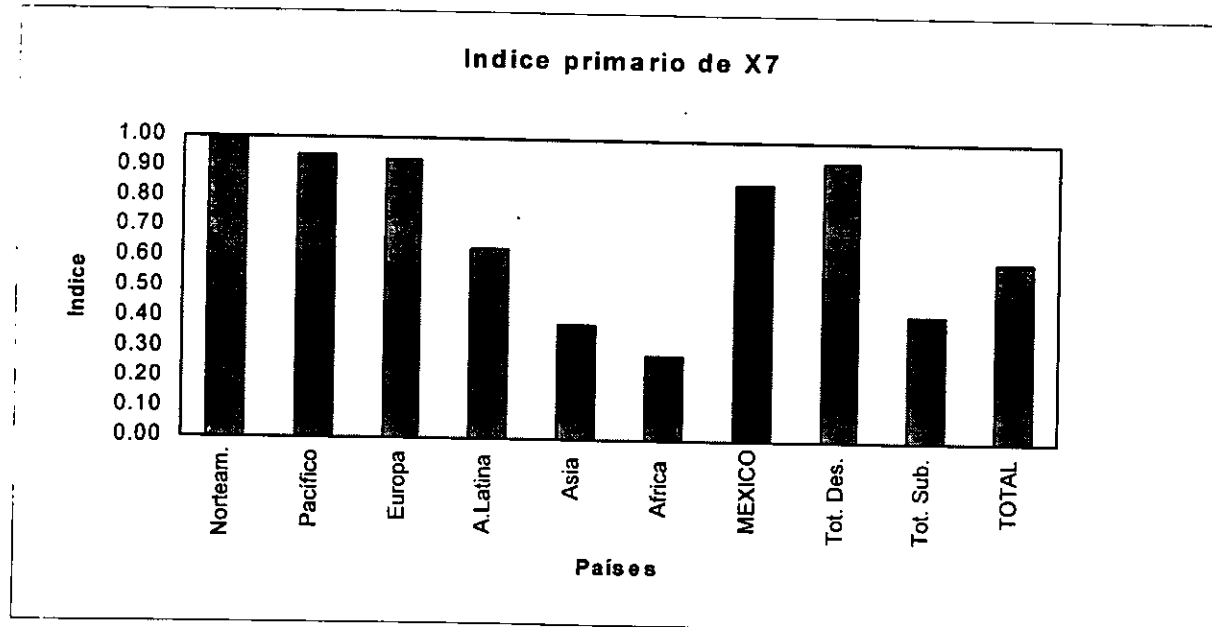
México se ubicó en la posición 53º (9º puesto en la región latinoamericana), con un registro de 0.6339; es decir, por debajo de todos los promedios regionales y de la media total. La intensidad energética de la economía mexicana aumentó en un 25.7% entre 1973 y 1993, lo que constituye un retroceso en el ajuste a los patrones de una reestructuración energética sostenible.

c) Índice I_{X7} : Indicador relativo del grado de cobertura energética en 1993

Valor máximo de X_7 = 1184.07 kg/habitante (Canadá);

Valor mínimo de X_7 = 109.21 kg/habitante (Bangladesh).

Gráfico G7.9



Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al I_{X7} , que mide el grado de satisfacción de las necesidades

energéticas básicas, las cinco primeras posiciones son ocupadas por Canadá, EE.UU., Australia, Holanda y Noruega. El I_{x7} promedio de las naciones industrializadas (0.9338) supera ampliamente el nivel correspondiente a los países subdesarrollados (0.4282).

El **gráfico G7.9** evidencia la enorme brecha existente entre las regiones desarrolladas y subdesarrolladas en cuanto a cobertura de las necesidades energéticas básicas. En efecto, mientras todas las áreas industrializadas registran un índice superior al 90%, con Norteamérica como líder (99.5%); ninguna de las áreas subdesarrolladas alcanzó un nivel superior al 35%, con el punto extremo más bajo ubicado en la región africana (sólo 28.9%).

México, como país de desarrollo medio exportador de energía, ocupó la posición 29° (4° lugar en América Latina y el Caribe), con un índice de 85.7%, lo que supera ampliamente a la media de los países subdesarrollados y al promedio total.

d) Índice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible: agregación parcial

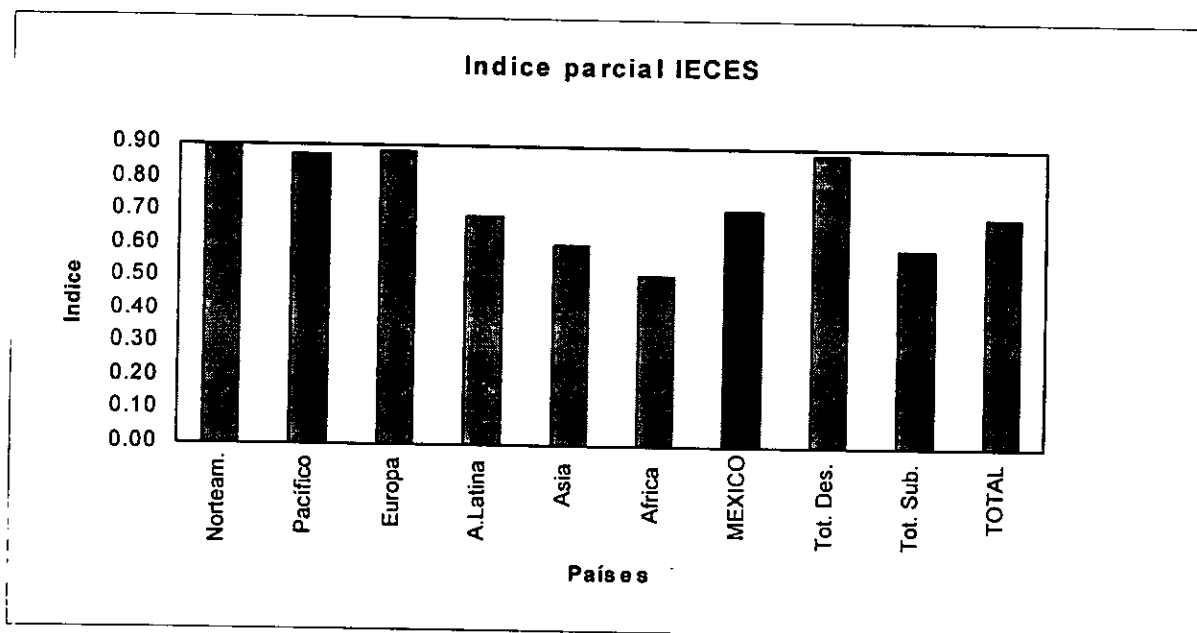
IECES = $0.35(I_{x5}) + 0.3(I_{x6}) + 0.35(I_{x7})$; para cada país. (7.7):

I_{x5} e I_{x7} tienen una ponderación del 35% cada uno, superior a la de I_{x6} , que es del 30%. Esto se debe a que tanto I_{x5} como I_{x7} son indicadores parciales de resultado, en tanto que I_{x6} es un indicador de cambio tendencial. Debe recordarse que, a los efectos de este trabajo a los indicadores de resultados al final del período se les asigna mayor ponderación que a los indicadores de cambio tendencial ya que los primeros muestran la situación real de una variable, en un país dado, al final del período que se evalúa; mientras que los segundos sólo muestran el avance o retroceso de una determinada tendencia, en un país dado, durante el período que se analiza.

En cuanto a los resultados agregados del **Índice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible (IECES)**, las 20 primeras posiciones corresponden, en la mayoría de los casos, a países de alto desarrollo, con la única excepción de Gabón, que redujo en una tercera parte su intensidad energética en el período considerado y ocupó el 16° lugar.

Los cinco primeros escaños corresponden a Alemania (0.9480), Japón (0.9460), Dinamarca (0.9414), Austria (0.9268) y Noruega (0.9199); que mostraron caídas en la intensidad energética entre 20% y 40%, y bajos niveles absolutos de consumo energético por unidad de producción en los 20 años analizados. El IECES promedio de los países desarrollados (0.8800) resulta muy superior al de las naciones subdesarrolladas (0.5963).

Gráfico G7.10



Fuente: Elaboración propia.

El **gráfico G7.10** confirma la existencia de una brecha significativa entre países desarrollados y subdesarrollados, en lo relativo a la reducción de la intensidad energética y a la cobertura de las necesidades básicas de energía. Todas las regiones desarrolladas muestran índices superiores al 85%, mientras que en las subdesarrolladas este indicador oscila entre 51.2% (Africa) y 68.6% (América Latina).

México, con un grado de avance relativo del 71.4%, ocupó la posición 35° (6° lugar en el contexto latinoamericano). En el caso mexicano debe recordarse que su ubicación parcial en el IECES mejoró notoriamente con la incorporación del I_{x7} ya que en los índices primarios I_{x5} e I_{x6} los resultados para México fueron decepcionantes.

7.3. Agregación de los índices parciales. Cálculo del IANPE I y el IANPE II

7.3.1. Índice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético I (IANPE I)

IANPE I = 0.1(ICG) + 0.3(IECNF) + 0.6 (IECES), para cada país (7.1) (ver Anexo VII.1). Por tanto:

$$\text{IANPE I} = 0.1\{0.6(I_{x1})+0.4(I_{x2})\} + 0.3\{0.6(I_{x3})+0.4(I_{x4})\} + 0.6\{0.35(I_{x5})+0.3(I_{x6})+0.35(I_{x7})\} \\ = 0.06(I_{x1})+0.04(I_{x2})+0.18(I_{x3})+0.12(I_{x4})+0.21(I_{x5})+0.18(I_{x6})+0.21(I_{x7}) \quad (7.8)$$

La ecuación 7.8 muestra las ponderaciones correspondientes a cada uno de los índices primarios utilizados en los cálculos del IANPE I.

Los resultados obtenidos, a partir de la agregación del IANPE I para 65 países que ofrecen información comparable y actualizada sobre los indicadores considerados, muestran que los veinte primeros lugares corresponden preferentemente a países desarrollados, que son los que, como promedio, han registrado un mayor grado de avance en las direcciones evaluadas.

Tabla T7.2

Primeras veinte posiciones en los cálculos del IANPE I

Orden	Países	IANPE I/93	IDH/93	Orden	Países	IANPE I/93	IDH/93
1	ISLANDIA	0.7936	0.9340	11	CANADA	0.6830	0.9510
2	SUECIA	0.7881	0.9330	12	AUSTRIA	0.6748	0.9280
3	FRANCIA	0.7756	0.9350	13	N.ZELANDIA	0.6612	0.9270
4	NORUEGA	0.7518	0.9370	14	R. UNIDO	0.6597	0.9240
5	SUIZA	0.7173	0.9260	15	USA	0.6541	0.9400
6	BELGICA	0.7040	0.9290	16	ITALIA	0.6333	0.9140
7	JAPON	0.6918	0.9380	17	DINAMARCA	0.6322	0.9240
8	FINLANDIA	0.6899	0.9350	18	ESPAÑA	0.6302	0.9330
9	ALEMANIA	0.6841	0.9200	19	IRLANDA	0.6263	0.9190
10	PARAGUAY	0.6830	0.7040	20	HOLANDA	0.6224	0.9380

Nota:

IDH: Índice de Desarrollo Humano, calculado por el PNUD.

Fuente: Tomado del Anexo VII.1

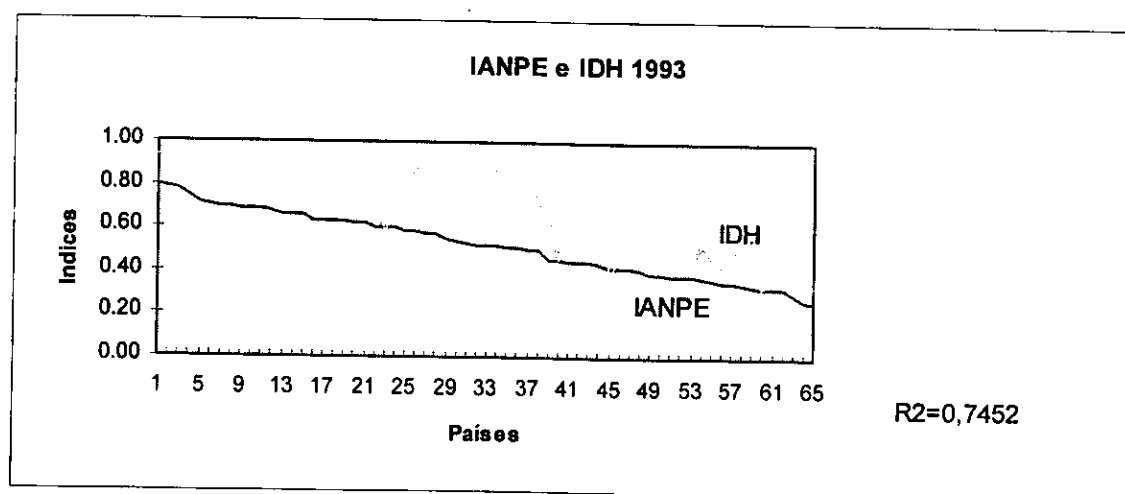
Encabezando el listado se ubican cinco países europeos (tres nórdicos), liderados por Islandia (0.7936); donde las fuentes renovables aumentaron su participación en el balance de energía comercial, de 23% a 63% (la parte del petróleo

cayó de 77% a 35%); y la intensidad energética disminuyó en un 10%. **EE.UU.** (**0.6541**) se ubica en el 15° lugar, exhibiendo su mejor registro parcial en el Índice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible (IECES), donde ocupó el 7° puesto (0.9150); mientras que **Japón (0.6918)** se situó en el 7° lugar agregado y en el 2° puesto en cuanto al IECES (0.9460).

El único país subdesarrollado que se ubica entre las veinte primeras posiciones es **Paraguay**, cuyo índice agregado refleja un cambio significativo en sus patrones energéticos, derivado de la puesta en marcha de la central hidroeléctrica de Itaipú (1986), que comparte con Brasil. En efecto, la proporción correspondiente a las energías renovables (básicamente hidroelectricidad) pasó de 20% a 74% entre 1973 y 1993; al tiempo que la participación del petróleo cayó de 80% a 26% y la intensidad energética se redujo en un 16% en esos años.

En los lugares 21° al 40° se ubican países de desarrollo alto y mediano; y en las posiciones 41° al 65° se sitúan países de desarrollo medio y bajo. La regresión simple aplicada al IANPE I (variable dependiente) y al Índice de Desarrollo Humano de 1993 (variable independiente), arrojó un coeficiente de correlación (R^2) de 0.745; es decir un nivel medio de explicación del IANPE I a partir del IDH/93 calculado por el PNUD (ver **Anexo VII.5 y gráfico G7.11**).

Gráfico G7.11



Fuente: Elaboración propia

Este nivel de correlación entre el IANPE I y el IDH confirma que, si bien las primeras posiciones del IANPE I son ocupadas preferentemente por países con altos índices de desarrollo humano y los últimos puestos por países pobres, no podría hablarse de un condicionamiento mecánico o determinista entre ambos índices. Nótese, por un lado que, excepto Canadá, todos los países que ocupan las primeras 14 posiciones superan a EE.UU. en cuanto al IANPE I, pero no en el IDH.

Por otro lado, las cuatro desviaciones más marcadas que muestra la curva del IDH en el gráfico G7.11 corresponden (de izquierda a derecha) a Paraguay, Gabón, Myanmar y Bangladesh; es decir, países con IDH relativamente bajos, pero IANPE I relativamente altos.

Asimismo, cuando se pasa revista a los resultados del IANPE I pudiera pensarse, en un inicio, que se confirma la idea acerca de la relación automática en forma de "U" invertida entre crecimiento económico (eje X) y degradación ambiental (eje Y), sintetizada en la Curva de Kuznets.

Para disipar esta duda, cabe apuntar, por un lado, que el progreso logrado por los países desarrollados, sobre todo en lo referido al mejoramiento de la eficiencia energética, refleja en alto grado la adopción de importantes programas de sustitución y conservación de energía, particularmente en el período de altas cotizaciones del crudo (1973-85); de manera que al erosionarse las cotizaciones de los hidrocarburos (a partir de 1986) el ímpetu de estos esfuerzos se ha reducido considerablemente. Consecuentemente, no podría hablarse de una relación automática entre niveles de ingreso per cápita y calidad ambiental en este caso.

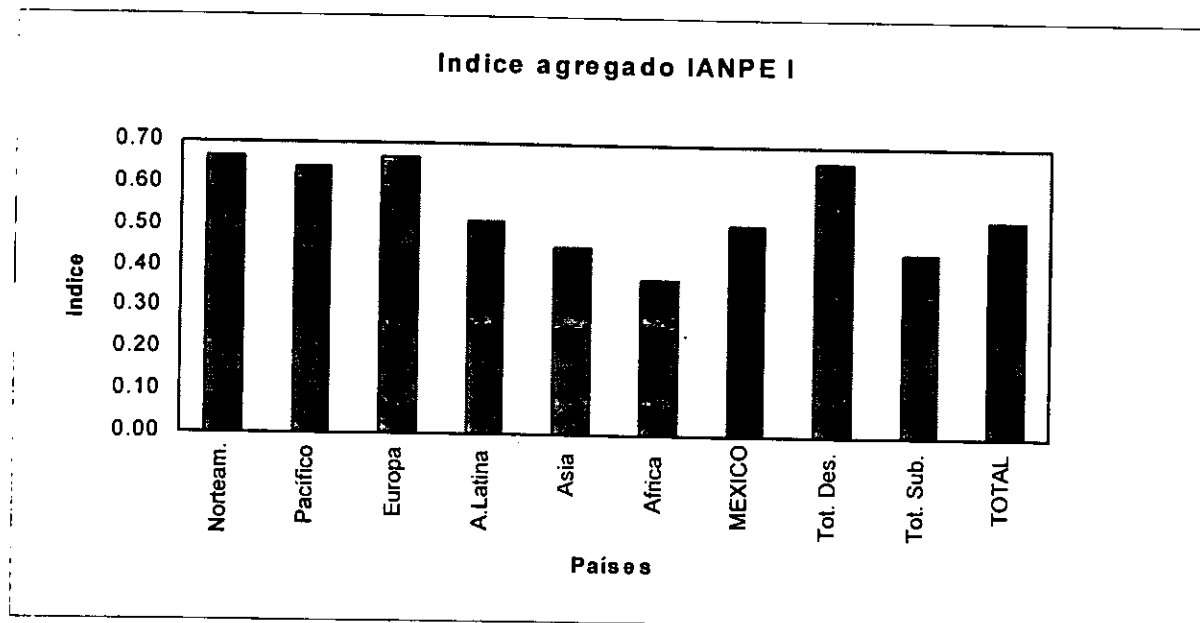
Por otro lado, los resultados agregados del IANPE I revelan que no son precisamente los países más ricos, en términos de ingresos per cápita, los que ocupan las primeras posiciones. Así, por ejemplo, Islandia, con un ingreso per cápita real inferior al del EE.UU. en un 32.4%, ocupa el primer puesto, mientras que EE.UU. se ubica en el 15º lugar.

Adicionalmente, cabe recordar que si bien las naciones industrializadas son las que muestran, en sentido general, un mayor grado de ajuste a los patrones del nuevo

paradigma energético en 1973-93; estos países siguen siendo los principales responsables de los graves problemas ambientales globales, sobre todo desde una perspectiva histórica.

El **gráfico G7.12** muestra los resultados agregados del IANPE I por regiones, y pone de manifiesto las notables diferencias existentes entre áreas desarrolladas y subdesarrolladas, en cuanto al grado de ajuste a los patrones de una reestructuración energética sostenible o un nuevo paradigma energético. Mientras las regiones industrializadas muestran un IANPE I promedio de 66.3%, África, por ejemplo, apenas alcanza un 37.3%. **México** con un IANPE I de 50.8%, superior al promedio de los países subdesarrollados se ubicó en la posición 35°.

Gráfico G7.12



Fuente: Elaboración propia.

Una segunda variante en la elaboración de IANPE se obtendría a partir de la exclusión de la energía nuclear de los cálculos del IECNF; es decir sólo se considerarían las fuentes renovables como alternativas energéticas a los combustibles fósiles en el proceso de ajuste a un nuevo paradigma energético.

7.3.2. Índice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético II (IANPE II)

En el IANPE II se modifica el IECNF mediante la exclusión de la energía nuclear de los cálculos, para obtener el **Índice de Energía Comercial Renovable (IECR)**. En este caso las variables básicas serían X_{3A} y X_{4A} :

X_{3A} : Parte correspondiente a la energía renovable dentro del balance energético comercial, en 1993.

X_{4A} : Variación de la proporción de las energías renovables en el balance energético comercial entre 1973 y 1993.

Las variables X_{3A} y X_{4A} fueron homogeneizadas para su utilización en cálculos posteriores, mediante la elaboración de índices primarios, según la **fórmula 7.2**; donde I_{Xi} es el índice primario de la variable X_i , con $i = 3A; 4A$ (**ver Anexo VII.6**).

a) Índice I_{X3A} : Indicador relativo de la participación de la energía renovable en el balance energético en 1993

Valor máximo de $X_{3A} = 0.7444$ (74.44% en Paraguay)

Valor mínimo de $X_{3A} = 0$ (Benin, Senegal y Trinidad-Tobago).

En la elaboración del IECR, el índice primario I_{X3A} se introduce con una ponderación del 60% por tratarse de un indicador parcial de resultado (**ver nota al pie No. 5 de este capítulo**); y los países que se ubican en las primeras posiciones son Paraguay, Islandia, Zambia, Noruega y Ghana, que son naciones donde las fuentes de energía renovables representaban entre 30% y 75% de la energía comercial disponible en 1993. Obsérvese que, al excluir de los cálculos el aporte de la energía nuclear, el I_{X3A} promedio de los países subdesarrollados (0.1408) supera al de los países desarrollados (0.1285).

Si se compara el I_{X3} (**Anexo VII.3**) con el I_{X3A} (**Anexo VII.6**), puede apreciarse la pérdida de posiciones de aquellos países más dependientes de la energía nuclear, como Suecia, que pasó de un 3º lugar (0.7413) en el I_{X3} al 14º puesto (0.2123) en el I_{X3A} y Francia, que cayó del 6º puesto (0.5805) a la 42ª posición (0.0316). En el balance energético de estos dos países la energía nuclear participa con un 40%,

aproximadamente.

Otros países que también perdieron posiciones con la sustitución del I_{x3} por el I_{x3A} son Bélgica, Canadá, Finlandia, Alemania, Japón, EE.UU., España, Suiza, Reino Unido, Hungría y Corea del Sur. El componente nuclear en los balances energéticos de estos países oscila entre 10% y 25%.

Para **México**, aunque su I_{x3A} (0.0782) resultó inferior a su I_{x3} (0.0921), se registró una mejoría en la posición relativa al pasar de su posición 37° en el I_{x3} al lugar 29° en el I_{x3A} .

b) Índice I_{x4A} : Indicador relativo de la dinámica de sustitución de combustibles fósiles por energía renovable en 1973-93

Valor máximo de X_{4A} = 0.5461 (54.61 puntos porcentuales, en Paraguay)

Valor mínimo de X_{4A} = -0.2503 (-25.03 puntos en Camerún)

El índice primario I_{x4A} se incorpora al IECR con una ponderación del 40%, por tratarse de un indicador de cambio tendencial (**ver nota al pie No. 5 de este capítulo**); y los países que ocupan los primeros lugares son Paraguay, Islandia, Filipinas, Zambia y Uruguay. El I_{x4A} promedio es de 0.3430 para países desarrollados y 0.2924 para países subdesarrollados. **México** pasó de la posición 42° en el I_{x4} , con un marcador de 0.3040, a la posición 43°, con un registro de 0.2911.

c) Índice de Energía Comercial Renovable: agregación parcial

$IECR = 0.6(I_{x3A}) + 0.4(I_{x4A})$, para cada país. (7.9)

El IECR es encabezado por Paraguay e incluye, entre los veinte primeros lugares, a otros 12 países subdesarrollados. Los tres países desarrollados mejor ubicados en este índice son Islandia, Noruega y Nueva Zelanda. El IECR promedio es de 0.2143 para países desarrollados y de 0.2014 para los subdesarrollados.

En el IECR, **México** pasó a ocupar la posición 30°, con un nivel de avance relativo de 16.3%, que resulta inferior a todos los promedios regionales y a la media total. En el IECNF, este país ocupaba el lugar 37° con un registro del 17.7%.

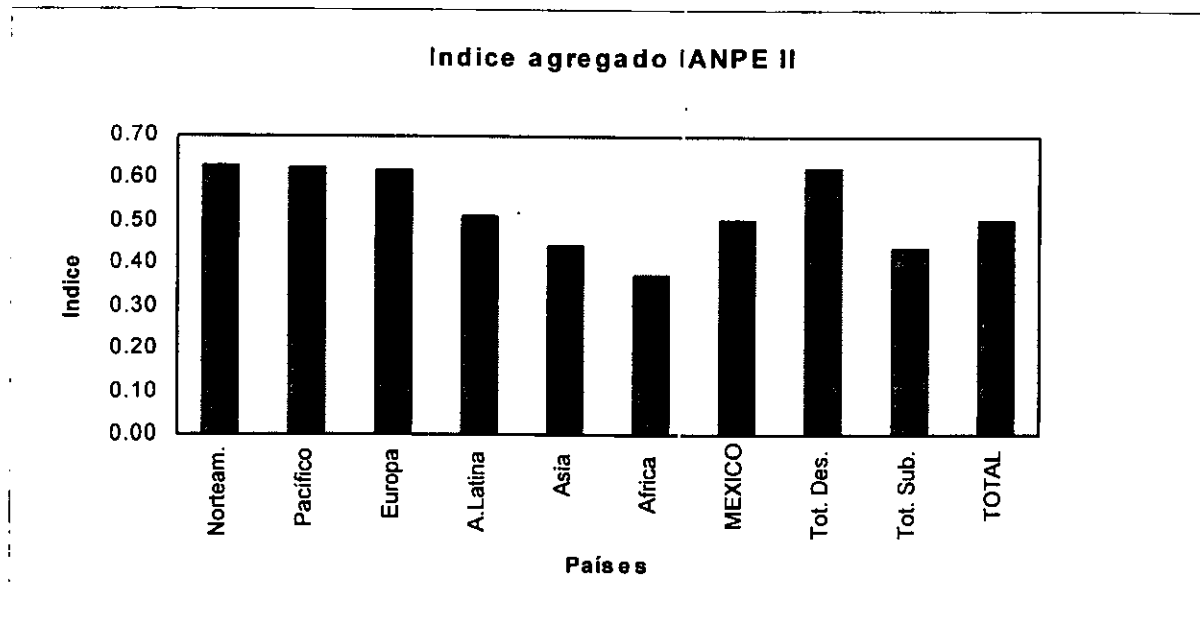
d) Índice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético II: agregación

$IANPE\ II = 0.1(ICG) + 0.3(IECR) + 0.6(IECES)$, para cada país. (7.10) (ver Anexo VII.7)

Como puede apreciarse en la elaboración del IANPE II, los cálculos referidos al ICG y al IECES no sufren variaciones, con relación a los utilizados para el IANPE I. Como resultado de la sustitución del IECNF por el IECR, el IANPE II de los países desarrollados sufrió una caída de 3.91 puntos porcentuales con respecto al IANPE I, en tanto que la pérdida correspondiente para los países subdesarrollados fue de apenas 0.17 puntos.

El gráfico G7.13 muestra que, aún considerando la pérdida relativa de posición de los países industrializados en el IANPE II, continúa existiendo una importante brecha entre las regiones desarrolladas, de un lado, y las subdesarrolladas, de otro lado, en cuanto al ajuste a los patrones de una reestructuración energética o un nuevo paradigma energético.

Gráfico G7.13



Fuente: Elaboración propia.

Con la exclusión de la energía nuclear, en los cálculos del IANPE II, México

pasó a ocupar el lugar 37°, con nivel de avance relativo de 50.4%, que supera la media de los países subdesarrollados, aunque resulta inferior al promedio total. Recuérdese, que los cálculos del IANPE I México ocupó la posición 35°, con un registro del 50.8%.

7.4. Debilidades y fortalezas del procedimiento de medición propuesto

El ejercicio de medición presentado en este capítulo refleja una primera aproximación en la evaluación del grado de avance o retroceso de los 65 países, que ofrecen cifras comparables, en las tres direcciones principales de la reestructuración energética sostenible o un nuevo paradigma energético. Como se expresó antes, dado el carácter gradual del avance en el sentido de una reestructuración energética sostenible o un nuevo paradigma energético, este tipo de mediciones periódicas reviste particular importancia, tanto en el plano académico como en el proceso de toma de decisiones en la esfera energética.

A partir de índices primarios, contruidos con un procedimiento estadístico homogéneo (**fórmula 7.2**), se elaboraron tres índices parciales, que luego se agregaron, mediante ponderaciones preestablecidas, para obtener finalmente el IANPE. Las ponderaciones asignadas a cada índice parcial reflejan la contribución de las respectivas direcciones o tendencias consideradas a la reestructuración energética sostenible, según criterios de sustentabilidad fijados previamente (**ver tabla T7.1**).

Como todo esfuerzo de esta naturaleza, este ejercicio, que revela aportaciones en la medición del grado de sustentabilidad energética de diversas regiones y países en un período dado, no está exento de limitaciones y debilidades.

7.4.1. Limitaciones y debilidades del procedimiento de medición

Entre las limitaciones principales del procedimiento de medición propuesto, cabe señalar, en primer término, las derivadas de la falta de información estadística comparable internacionalmente. Esta dificultad limitó el número de la muestra a sólo 65 países (24 desarrollados y 41 subdesarrollados); y afectó sobre todo los cálculos

relativos a los índices parciales IECNF e IECR, donde quedó excluida la utilización de la biomasa con fines energéticos, por no contarse con registros confiables para todos los países considerados.

Aún en los casos en que las estadísticas de la biomasa están disponibles, no se establece una distinción entre aquella parte del consumo de esta fuente que es utilizada de forma sostenible, como pudiera ser el caso del programa brasileño basado en el alcohol de caña como carburante; y la otra parte -mayoritaria, por cierto- que es utilizada con elevados niveles de ineficiencia e insustentabilidad, como ocurre con un alto porcentaje de la leña y otros residuos de plantas y animales consumidos en los países subdesarrollados.

También cabe destacar que, si bien el IANPE constituye una aproximación a la medición del grado de ajuste de cada país o región considerado a los patrones de la reestructuración energética sostenible, el procedimiento seguido muestra un sesgo a favor de las fuentes energéticas que contribuyen a mitigar el efecto invernadero o calentamiento global, que sin dudas es una de las mayores preocupaciones ambientales globales del presente, pero no es el único impacto ecológico negativo derivado de la producción y consumo de energía.

Para tratar de reducir este sesgo, se introdujo el factor No. 3 (contribución relativa de cada tendencia al ahorro de energía y por tanto a la calidad ambiental, en sentido general, ver **tabla T7.1**) en el cálculo de las ponderaciones básicas del IANPE; y se incorporó el IANPE II, donde la energía nuclear, que contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero pero que tiene otras desventajas ecológicas de envergadura, se excluye de las alternativas energéticas a los combustibles fósiles.

Debido a las características de la fórmula básica empleada en la elaboración del IANPE (**ecuación 7.2**), en cada uno de los cálculos primarios, parciales y agregados, la posición relativa de cada país se mide en función de los valores extremos (máximo y mínimo) que alcanza la variable en cuestión, en el período estudiado; es decir, no se mide la posición de cada país a partir de un "modelo ideal de sustentabilidad energética preestablecido", que se traduzca en ciertos valores

datos para cada una de las variables analizadas. Sin embargo, debe apuntarse que en cada una de las variables se contó con valores extremos que resultaban representativos de progreso o rezago en cada tendencia estudiada.

Las ponderaciones utilizadas para incorporar cada uno de los índices parciales en la integración del IANPE son susceptibles a un perfeccionamiento ulterior, con la incorporación de nuevos criterios de sustentabilidad energética y el mejoramiento de los cálculos referidos a los criterios ya considerados en esta investigación. En este punto debe recordarse que muchos de los criterios de sustentabilidad incluidos tienen un importante componente cualitativo, que resulta muy difícil de cuantificar con toda la precisión deseada.

Finalmente, cabe señalar que el IANPE está lejos de ser un indicador de sustentabilidad energética acabado ya que, además de las limitaciones antes mencionadas, la perspectiva histórica se limita a los veinte años transcurridos entre 1973 y 1993, que es el marco temporal de esta investigación. No obstante, hay que destacar que no fue objetivo de este trabajo construir un indicador acabado de sustentabilidad energética, sino más bien aportar una evaluación aproximada del ajuste internacional a los patrones energéticos del nuevo paradigma tecnológico, lo que explica el marco temporal de este estudio.

7.4.2. Retos enfrentados y fortalezas del procedimiento de medición

Uno de los retos más importantes en el proceso de medición estuvo asociado a la determinación de las ponderaciones a utilizar para obtener el IANPE a partir de los tres índices parciales. A pesar de las imperfecciones que puedan atribuirse al procedimiento de cálculo seguido en este caso, la utilización de diferentes ponderaciones para cada índice parcial mejora considerablemente los resultados de las operaciones, sobre todo si se compara con un procedimiento alternativo de tratamiento indiferenciado de los índices parciales (promedio simple) para llegar al índice agregado.

Otro importante desafío estuvo relacionado con los cálculos referidos al Índice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible (IECES), que es el que más peso

específico tiene en la elaboración del IANPE y el que muestra mayor grado de complejidad.

En los cálculos de este índice parcial se destaca, por una parte, el problema asociado al manejo de la información relacionada con la intensidad energética en países con diferentes niveles de desarrollo y distintas estructuras socioeconómicas. Ante todo, en el trabajo se recuerda que la evolución de la intensidad energética de un país no sólo refleja variaciones en la eficiencia energética (con una relación inversa), sino también cambios en la estructura de la economía; no obstante, se asume que tanto los incrementos de la eficiencia como los cambios estructurales que se traduzcan en una reducción de la intensidad energética favorecen el ajuste a los patrones de un nuevo paradigma energético.

Además, se trabajó con un estimado de la intensidad energética total (energía comercial + tradicional) que mejoró considerablemente los cálculos internacionales. Debe tenerse en cuenta que para los países industrializados la intensidad de energía comercial (IEC) no se diferencia sustancialmente de la intensidad energética total (IET), debido a la composición del balance de energía de estos países, donde las fuentes no comerciales suelen tener muy bajo peso (**ver Anexo V.1**).

Sin embargo, en el caso de los países más pobres las fuentes tradicionales no comerciales tienen, por lo general, un peso muy elevado, lo que se traduce en una brecha considerable entre IEC e IET en este segundo grupo de países. Así, por ejemplo; mientras en Islandia y Alemania $IEC \approx IET$ en 1993, en Tanzania y Nepal la IET superaba a la IEC en 12 veces en ese mismo año.

A la hora de introducir, en los cálculos del IECES, el indicador del grado de cobertura energética de los distintos países considerados, se trató de evitar establecer una relación mecánica y determinista entre crecimiento del consumo de energía per cápita y satisfacción de los requerimientos energéticos básicos.

Para lograr esto, se tomó un umbral de consumo energético, con el que pueden cubrirse las necesidades básicas, y a las cifras de consumo de energía per cápita superiores a ese umbral se les aplicó una fórmula de descuento, basada en criterios de utilidad marginal, según la cual la utilidad de cada unidad de energía

consumida por encima del umbral tiene un aporte decreciente en la cobertura de necesidades esenciales, e incluso puede llegar a despilfarrarse.

Finalmente, el cálculo de dos variantes del IANPE (IANPE I y IANPE II), permite comprobar que, con la introducción o no de la energía nuclear entre las alternativas energéticas a los combustibles fósiles, existe una brecha significativa entre el grado de ajuste de las economías industrializadas y subdesarrolladas a los patrones de una reestructuración energética sostenible.

No obstante, se demuestra que no se debe establecer una relación automática entre los niveles de ingreso per cápita de un país y su grado de ajuste a los patrones antes mencionados ya que, en el análisis por países, no son siempre los países con mayores niveles de ingreso por habitante los que se ubican en las primeras posiciones del IANPE.

En sentido general, el cálculo de IANPE le confiere mayor solidez y coherencia a los argumentos presentados previamente en esta investigación, con relación al grado de ajuste de distintas regiones y países a los patrones de una reestructuración energética sostenible; y ofrece un modelo general, que resulta susceptible a ulteriores ampliaciones con la incorporación de nuevos países a la muestra.

El procedimiento de medición empleado se basa, en gran medida, en fórmulas ampliamente utilizadas y probadas en comparaciones internacionales, referidas a la posición relativa de diferentes países con relación a otros indicadores de desarrollo socioeconómico, como los incluidos en los cálculos del Índice de Desarrollo Humano (IDH), del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, a partir de 1990. Este elemento de compatibilidad estadística abre una ventana de oportunidad para una eventual ampliación del IDH, con la incorporación de indicadores de sustentabilidad⁸, lo que constituye un reclamo bastante generalizado, en medio del debate académico internacional acerca de la cobertura y calidad de los indicadores que se utilizan en el presente para calcular el IDH.

⁸Debe tenerse en cuenta que el IANPE constituye un indicador de sustentabilidad, pero limitado a la esfera energética y restringido en cuanto al marco temporal considerado.

Capítulo VIII

Conclusiones

Visto desde una perspectiva histórica, existe un vínculo estrecho y permanente entre las variables tecnología, energía y medio ambiente. De un lado, la capacidad y dominio tecnológico de las sociedades influyen, en alto grado, en las formas de producir y utilizar la energía requerida para el funcionamiento socioeconómico; lo que a su vez repercute, en mayor o menor medida, sobre la calidad del medio ambiente, en dependencia de las fuentes energéticas que se fomenten.

De otro lado, la variable energética (escasez o abundancia de energía) y los impactos ambientales adversos derivados del sector energético pueden tener un papel clave como punto de partida para explicar grandes transformaciones tecnológicas. En cada momento histórico, el vínculo entre las variables tecnológicas, energéticas y ambientales ha estado condicionado, en gran medida, por el contexto económico, político y social prevaleciente.

Con relación al vínculo entre tecnología y energía, y al componente energético de las grandes transformaciones tecnológicas ocurridas durante el período industrial (a partir de 1780), cabe recordar que la crisis energética asociada al severo déficit de madera en Europa es considerada como uno de los factores que aceleraron el advenimiento de la Revolución Industrial. A partir de ese momento, las tres grandes "Revoluciones Industriales", ocurridas a escala planetaria, han descansado sobre una determinada base energética; es decir a cada uno de esos tres períodos históricos le son inherentes patrones energéticos específicos.

La "Primera Revolución Industrial" (1780-1910s) se basó fundamentalmente en el desplazamiento de la madera por el carbón mineral como principal fuente energética; primero en Europa y luego en otras áreas geográficas como Norteamérica. La "Segunda Revolución Industrial" (1910s-1970s) descansó principalmente en la sustitución del carbón mineral por el petróleo y la electricidad; iniciada en Norteamérica y expandida, posteriormente, hacia otras latitudes.

posición en el contexto latinoamericano y caribeño, de 13 países considerados), con un registro (0.5081) que resulta superior a la media de los países subdesarrollados (0.4425), pero inferior a la de los desarrollados (0.6630).

De los tres índices parciales que integran el IANPE I, México se situó por debajo del promedio de los países subdesarrollados en uno de ellos (IECNF, que mide la sustitución de combustibles fósiles); y superó dicho promedio en los dos índices parciales restantes (ICG e IECES).

Con relación al IECES, que mide la eficiencia y cobertura energética sostenible del país, la mejor ubicación relativa de México, en comparación a la media de los países subdesarrollados, se debió al comportamiento relativamente favorable de uno de los tres índices primarios incluidos en este índice parcial (I_{x7} , que evalúa el grado de cobertura energética a partir del nivel de consumo de energía por habitante). En los otros dos índices primarios (I_{x5} , que mide el grado de eficiencia energética de la economía en 1993; e I_{x6} , que mide la evolución de la eficiencia energética entre 1973 y 1993) los registros del país fueron decepcionantes.

En sentido general, el cálculo de IANPE le confiere mayor solidez y coherencia a los argumentos presentados previamente en esta investigación, con relación al grado de ajuste de distintas regiones y países a los patrones de una reestructuración energética sostenible; y ofrece un modelo general, que resulta susceptible a ulteriores ampliaciones con la incorporación de nuevos países a la muestra.

Aunque el IANPE está lejos de ser un indicador de sustentabilidad energética acabado, el procedimiento de medición empleado se basa en fórmulas ampliamente utilizadas en comparaciones internacionales. Este elemento de compatibilidad estadística abre una ventana de oportunidad para un eventual perfeccionamiento de los actuales índices de desarrollo humano, con la incorporación de indicadores de sustentabilidad (energética, en este caso), lo que constituye un reclamo bastante generalizado, en medio del debate académico internacional actual.

correlación entre ambos indicadores confirma que, si bien las primeras posiciones del IANPE I son ocupadas preferentemente por países con altos índices de desarrollo humano y los últimos puestos por países pobres, no podría hablarse de un condicionamiento mecánico o determinista entre ambos índices. Así, por ejemplo, excepto Canadá, todos los países que ocupan las primeras 14 posiciones en el IANPE I superan a EE.UU. en cuanto a este índice, pero no en el IDH.

Asimismo, cuando se revisan a los resultados del IANPE I, pudiera pensarse en un inicio que se confirma la idea acerca de la relación automática en forma de "U" invertida entre crecimiento económico (eje X) y degradación ambiental (eje Y), sintetizada en la curva de Kuznets.

Sin embargo, cabe recordar, por un lado, que el progreso logrado por los países desarrollados, sobre todo en lo referido al mejoramiento de la eficiencia energética, refleja en alto grado la adopción de importantes programas de sustitución y conservación de energía, particularmente en el período de altas cotizaciones del crudo (1973-85); de manera que al erosionarse los precios de los hidrocarburos (a partir de 1986) el ímpetu de estos esfuerzos se ha reducido considerablemente. Consecuentemente, no podría hablarse de una relación automática entre niveles de ingreso per cápita y calidad ambiental en este caso.

Por otro lado, los resultados agregados del IANPE I muestran que no son precisamente los países más ricos en términos de ingresos per cápita, los que ocupan las primeras posiciones. Así, por ejemplo, Islandia, con un ingreso per cápita real inferior al de EE.UU. en un 32.4%, ocupa el primer puesto, mientras que EE.UU. se ubica en el lugar 15º.

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que si bien las naciones industrializadas son las que muestran, en sentido general, un mayor grado de ajuste a los patrones del nuevo paradigma energético en 1973-93; estos países siguen siendo los principales responsables de los graves problemas ambientales globales, sobre todo desde una perspectiva histórica.

En los cálculos del IANPE I, que como se mencionó no difieren sustancialmente de los del IANPE II, **México** quedó ubicado en el lugar 35º (7ª

ambientalmente idóneas resulta vital para encausar el desarrollo futuro del sector energético mexicano sobre bases sostenibles.

El **Indice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético (IANPE)**, introducido en esta investigación para evaluar el grado de avance o retroceso relativo registrado durante 1973-93 en el sentido de una reestructuración energética sostenible, integra la información de tres índices parciales: Índice de Consumo de Gas en la estructura de los combustibles fósiles (ICG), con una ponderación del 10%; el Índice de utilización de Energía Comercial No Fósil (IECNF), con un 30% de ponderación; y el Índice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible (IECES), con una participación del 60%. Estos índices parciales están referidos a las tres direcciones básicas de una reestructuración energética sostenible.

Los resultados obtenidos con la agregación del **IANPE I** revelan que las veinte primeras posiciones (de 65 países comparados) corresponden principalmente a países desarrollados, que son los que han registrado un mayor grado de avance en las direcciones consideradas. El único país subdesarrollado que se ubica entre las primeras veinte posiciones es Paraguay, cuyo índice agregado refleja un cambio significativo en sus patrones energéticos, derivado de la puesta en marcha de la central hidroeléctrica de Itaipú (1986), que comparte con Brasil.

La segunda versión del **IANPE (IANPE II)**, que excluye a la energía nuclear de las alternativas energéticas a los combustibles fósiles y sólo se concentra en las fuentes de energía comercial renovables (hidroenergía, geotermia y otras), afectó en cierta medida la posición relativa de los países desarrollados, sobre todo en los casos de Suecia y Francia, debido a la mayor participación de la energía nuclear en el balance de energía comercial.

No obstante, aún considerando esta pérdida relativa de posición de los países industrializados en el **IANPE II**, continúa existiendo una importante brecha entre las regiones desarrolladas, de un lado, y las subdesarrolladas, de otro lado, en cuanto al ajuste a los patrones de un nuevo paradigma energético.

El coeficiente de correlación entre el **IANPE-I** y el Índice de Desarrollo Humano (IDH/93, calculado por el PNUD) fue del 0.74. Este nivel medio de

medida al desarrollo de "tecnologías limpias", apenas representan el 0.1%. Por tanto, aunque las previsiones de este mercado reflejan un salto cuantitativo notable, en tanto suponen un ritmo de crecimiento promedio anual de las inversiones ambientales del orden del 20% anual hasta el año 2000; cualitativamente faltaría mucho por avanzar para desarrollar una capacidad tecnológica endógena, basada en patrones realmente sostenibles.

Uno de los retos principales que tendría que enfrentar el sector energético mexicano en las próximas décadas es la tendencia creciente del consumo de energía comercial, como resultado del crecimiento poblacional esperado y de los procesos de urbanización e industrialización en marcha. De mantenerse los patrones actuales, y en ausencia de inversiones sustanciales en fuentes alternativas, el incremento esperado de la demanda de energía comercial sería cubierto casi exclusivamente por hidrocarburos, lo que reforzaría los problemas asociados a la elevada dependencia de estos combustibles.

En términos prospectivos, tampoco deben perderse de vista los efectos de la reforma o reestructuración del sector energético mexicano, que ha sido puesta en marcha durante los años 90 y sobre todo luego de la firma del TLC, con el propósito declarado de propiciar una expansión rápida y eficiente del sector y de atraer capitales para tales fines. Estas reformas apuntan hacia una mayor presencia de inversionistas privados, tanto nacionales como extranjeros, en distintos segmentos como la "petroquímica no básica"; distribución, transporte y almacenamiento de gas y generación eléctrica.

Estos cambios, en la medida en que implican una reducción de la participación del Estado en las actividades del sector, suponen nuevos retos, no sólo en lo relacionado con el control soberano de los recursos naturales estratégicos, sino además en lo referente a la integración vertical de la industria energética, la calidad de los servicios que se ofrezcan en el futuro, el uso eficiente de la energía, las implicaciones ambientales, y el impacto socioeconómico de las nuevas tarifas sobre los sectores mayoritarios de la población; entre otros. Ante tales retos, el debate acerca de la necesidad de potenciar y difundir las tecnologías

En esta dirección, se requiere un mayor avance a escala nacional en la identificación de las potencialidades de ahorro energético en las distintas regiones y sectores del país; y el paso a una fase de generalización de los programas piloto existentes bajo un enfoque más integral y una perspectiva de largo plazo.

A la hora de evaluar el impacto probable de la transferencia internacional de tecnologías en el logro de los objetivos nacionales de ahorro energético, resulta particularmente preocupante el hecho de que los dos socios de México en el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (TLC), con los cuales se tiende a concentrar cada vez más el comercio exterior mexicano, se ubican entre los países de la OCDE con más altos niveles de intensidad energética.

Ante estas realidades, el tema de las emisiones de gases de efecto invernadero, derivadas del sector energético resulta doblemente importante para México, tanto desde el punto de vista de la repercusión local de las emisiones mundiales, como en lo referente a los impactos adversos de las emisiones propias.

Por un lado, el territorio mexicano clasifica como un área de alta vulnerabilidad ante el cambio climático, debido, entre otras razones a la elevada dependencia de las áreas de cultivo con relación a las variaciones en los regímenes de precipitaciones. Además, como resultado del aumento gradual del calentamiento global, México probablemente será más caliente y seco que en la actualidad; y podría sufrir serias afectaciones en zonas costeras bajas, como consecuencia de la elevación previsible del nivel del mar.

Por otro lado, tanto el predominio de los combustibles fósiles (principalmente hidrocarburos) en el balance energético nacional, como la utilización ineficiente de la leña en la mayoría de las comunidades rurales mexicanas se traducen en un elevado costo ambiental para el país. En 1992 México ocupaba el 13º lugar entre los mayores emisores de carbono a nivel mundial, al tiempo que sus principales ciudades experimentan serios problemas de contaminación.

En la estructura del mercado ambiental de México para el período 1994-2000, la parte correspondiente a las inversiones en ahorro, uso eficiente de la energía y fomento de las fuentes energéticas alternativas, que estarían asociadas en gran

dimensiones económicas sumamente modestas en la actualidad, no deben pasarse por alto las enormes potencialidades económicas, sociales, tecnológicas y ambientales, asociadas al desenvolvimiento de dicho subsector en un futuro próximo.

La realización o materialización de estas potencialidades dependería, entre otros factores, de la canalización hacia estas empresas de apoyos gubernamentales que sean sustanciales y efectivos; del fortalecimiento de las capacidades técnicas, humanas y financieras del subsector; del fomento de las actividades de I-D, tanto en las empresas como en las instituciones científicas; y de la ampliación de los vínculos academia-industria e interindustriales. Estos objetivos serían elementos clave a considerar a la hora de pensar en el diseño de una política energética sostenible.

En materia de conservación energética, cabe apuntar que en el presente existe un significativo potencial de ahorro energético en los distintos sectores de la economía mexicana (industria, transporte, residencial-comercial-público, y agropecuario), pero el aprovechamiento de estas potencialidades dependería del grado en que se avance en el cambio de orientación de los esfuerzos básicos en el sector energético mexicano, que hasta finales de los años 80 estuvieron concentrados en la expansión de la oferta energética.

Durante los años 90 se ha apreciado una mayor preocupación por el uso eficiente de los recursos energéticos, sobre todo si se consideran los esfuerzos llevados a cabo en este sentido por la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae). Además, en el subsector eléctrico se destaca la actividad del Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE), basado en el concepto de "administración de la demanda", "gestión de la demanda" o "planeación integral de los recursos".

A diferencia del enfoque ofertista, que privilegia la realización de pocos proyectos de generación a gran escala; el ahorro energético, a partir de los programas de "administración de la demanda", supone el aprovechamiento de una amplia gama de oportunidades económicamente muy atractivas, pero muy difíciles de administrar.

En México el ajuste a los patrones del nuevo paradigma energético ha sido muy limitado. A las restricciones financieras y tecnológicas comunes a otros países subdesarrollados, en el caso mexicano se suma la condición de país productor y exportador de petróleo, lo que explica en gran medida la elevada participación de los hidrocarburos en la composición del balance energético y el alto grado de intensidad en la utilización de la energía.

En la actualidad los hidrocarburos aportan más del 90% de la producción total de energía y más del 60% de la generación bruta de electricidad. En este sentido, llama particularmente la atención la subutilización de importantes fuentes renovables como la hidroenergía, geotermia, energía eólica, biomasa y energía solar.

Las modificaciones del marco regulatorio para el sector energético en México, a partir de 1992, podrían abrir ciertos espacios que favorecerían a las pequeñas empresas energéticas independientes, basadas en la utilización de fuentes alternativas de energía; no obstante, aún se aprecia un escaso interés real a escala nacional en cuanto al fomento de las energías alternativas, lo que resulta evidente al examinar el Programa de Desarrollo y Reestructuración del Sector de la Energía 1995-2000. Cabe recordar que la creación y difusión de pequeñas empresas de energía sostenible, basadas en su potencial innovador, es un fenómeno asociado al nuevo paradigma energético.

El estudio de campo que se incluye en esta investigación, referido a una muestra de pequeñas empresas productoras de tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables, revela que si bien existe en el país un proceso emergente de innovaciones tecnológicas en el campo de la energía sostenible, aún este proceso enfrenta serias limitaciones. Los principales problemas que afectan a las pequeñas empresas de energía sostenible en México son las restricciones financieras, la falta de apoyo del gobierno y el marco legal existente; lo que suele traducirse, generalmente, en una insuficiente dotación de personal calificado, infraestructura de I-D deficiente y desestímulo al proceso inversionista.

Aunque el subsector de las pequeñas empresas productoras de tecnologías para el aprovechamiento de la energía renovable en México es un segmento de

deterioro ambiental.

Entre los factores externos que condicionan este entorno de crisis, se encuentran las restricciones financieras, asociadas directa o indirectamente al problema del endeudamiento externo, y los obstáculos a la transferencia de tecnologías avanzadas.

Con relación a los factores internos que agravan el entorno de vulnerabilidad tecnológica, crisis energética y deterioro ambiental, cabe mencionar las limitaciones institucionales en el diseño de políticas energéticas, tecnológicas y ambientales (predominio de políticas energéticas con sesgo ofertista); la distorsión de los precios de la energía (subsidios a los combustibles tradicionales); los irracionales patrones de distribución del ingreso y el consumo dilapidador de las élites de poder en los países subdesarrollados; y la falta de información con relación a las oportunidades inversión en tecnologías energéticas sostenibles; entre otros.

Durante el período de altos precios del petróleo (1973-85) en el área subdesarrollada se apreciaron ciertos esfuerzos por desarrollar las reservas petroleras propias, fomentar las fuentes energéticas alternativas y, en menor grado, por aumentar la eficiencia energética. Sin embargo, los programas diseñados con tales fines sólo se materializaron en un reducido número de países, particularmente aquellos de mayor desarrollo económico relativo o que resultaron atractivos para las estrategias de las empresas energéticas extranjeras. En casi todos los casos en que dichos esfuerzos se tradujeron en resultados significativos, las acciones emprendidas tuvieron como contrapartida crecientes niveles de endeudamiento externo.

Desde mediados de los 80, la erosión de los precios del petróleo en los mercados internacionales y la adopción de programas de desregulación y privatización de los sectores energéticos nacionales han devenido factores de desestímulo para el ulterior avance en el ajuste a los patrones del nuevo paradigma energético en el área subdesarrollada; e incluso han puesto en peligro la rentabilidad de algunos de los proyectos de ahorro energético y sustitución petrolera, emprendidos en períodos anteriores.

sustitución energética dirigida a promover las fuentes nuevas, renovables o no fósiles en la OCDE en 1973-93. Dentro de este panorama general, los mayores esfuerzos de sustitución energética sostenible se han registrado en Japón y Europa Occidental, y el menor progreso corresponde a EE.UU.

A partir de 1986, la erosión de los precios petroleros y el enfoque de "libre mercado", adoptado por algunos países de la OCDE, han desestimulado los programas de ahorro y sustitución energética. A diferencia de las estrategias diseñadas en los años 70, en que se abogaba por la independencia energética, debido a razones de seguridad (de hecho este fue el criterio que dio vida a la AIE en 1974); desde mediados de los 80 y sobre todo en los años 90 se aboga por capitalizar los beneficios de la interdependencia energética en los mercados globales, en clara referencia a lo que en esta investigación se define como un "nuevo orden energético (petrolero) mundial".

No obstante los elementos antes mencionados, que tienden a frenar un mayor avance en las direcciones del nuevo paradigma energético; debe apuntarse que gran parte de los programas de conservación energética y sustitución petrolera, emprendidos en periodos de elevadas cotizaciones de los hidrocarburos, tiende a ser irreversible y se justifica en alto grado por sus implicaciones favorables desde el punto de vista ambiental.

La capacidad de ajuste de los **países subdesarrollados** a los patrones del nuevo paradigma energético ha sido sumamente restringida debido, principalmente, a las limitaciones financieras y tecnológicas que enfrentan en el proceso de industrialización. El sector energético de estos países atraviesa una severa crisis, que impide satisfacer los requerimientos más elementales de sectores mayoritarios de la población y que tiene serias implicaciones ambientales.

En este contexto, los sectores más pobres de las naciones subdesarrolladas, al no tener acceso a tecnologías energéticas eficientes, son forzados a depender de su propio trabajo, de la fuerza de los animales y de los combustibles tradicionales de la biomasa para satisfacer sus necesidades de energía. El costo de esta situación se mide en términos de tiempo y trabajo humano invertidos, problemas de salud y

a ser un objetivo de política tecnológica y energética, sobre todo en los países industrializados.

La incorporación al análisis de la **dimensión ambiental**, implicaría internalizar las externalidades (daños o beneficios) ambientales en el costo de las diferentes tecnologías energéticas. De esta forma, el indicador básico para evaluar las potencialidades y limitaciones de cada tecnología dejaría de ser la relación de costo-eficiencia, en un sentido económico estrecho, y pasaría a ser una relación de costo-beneficio, basada en consideraciones de sustentabilidad; lo que mejoraría notablemente la competitividad de las tecnologías energéticas sostenibles frente a los combustibles fósiles.

Desafortunadamente, la valoración económica de los costos y beneficios ambientales derivados de cada tecnología es un proceso sumamente complejo y controversial, lo que explica el limitado avance registrado en esta dirección a nivel internacional, y por tanto la limitada incorporación de estos elementos teóricos en el proceso de toma de decisiones.

En sentido general, el análisis de las potencialidades y limitaciones internacionales para una reestructuración energética sostenible revela, como aspectos centrales el carácter necesario pero limitado de este proceso; así como el requerimiento de un avance gradual y una perspectiva de largo plazo a la hora de pensar en fórmulas, mecanismos o programas para avanzar en las direcciones básicas que considera dicha reestructuración.

El análisis por regiones y grupos de países muestra que una de las tendencias más significativas en el escenario energético mundial en las últimas dos décadas ha sido el grado de ajuste experimentado por las **economías desarrolladas** a los patrones de nuevo paradigma energético, sobre todo en lo relacionado con la puesta en práctica de programas de conservación energética basados en la introducción de equipos y tecnologías más eficientes. Este proceso fue bastante uniforme en el área de la OCDE, aunque el progreso en cada país fue diferente, en dependencia básicamente de su dotación de recursos energéticos.

Cabe señalar, sin embargo, el alcance extremadamente limitado de la

sectores de los países desarrollados, como la pequeña empresa y el sector residencial.

En el contexto actual, la persistencia de precios relativamente bajos para los hidrocarburos a nivel internacional contribuye a reforzar las limitaciones para una reestructuración energética sostenible, en los dos niveles antes mencionados; lo que se agrava aún más con la adopción de enfoques de corto plazo, en el diseño y aplicación de las políticas energéticas nacionales.

En algunos círculos económicos y políticos internacionales se ha postulado que el sector energético debe regirse fundamentalmente por las condiciones del mercado, lo que equivale a decir que los cambios estructurales en este sector -o sea, el ajuste a los patrones del nuevo paradigma energético- sólo retomarían su ritmo y vitalidad como consecuencia de futuras conmociones en el mercado petrolero, provocadas por elevaciones de los precios de los hidrocarburos.

Tales políticas de corte neoliberal, que soslayan la contradicción existente entre los intereses comerciales a corto plazo y la necesaria conservación de los recursos naturales, acorde con los intereses de la sociedad a más largo plazo, obstaculizan la adopción de un marco regulatorio, que contribuya a una transición energética ordenada. En este contexto, tienden a contraerse significativamente los gastos de I-D para tecnologías energéticas sostenibles.

La configuración previsible del mercado petrolero mundial en lo que resta de década y los primeros decenios del siglo venidero parece ajustarse más a la lógica globalizadora y transnacional, de reacomodar los distintos segmentos de la economía mundial en función de los intereses de los principales centros de poder económico y político, que a una reestructuración ordenada y favorable a todos los agentes que operan en este importante mercado.

Aunque las condiciones del mercado petrolero son, y seguirán siendo por algún tiempo, un factor básico en la determinación de los cambios y en la regulación del ritmo de la transición energética; las crecientes preocupaciones en torno al impacto adverso del sector energético sobre el medio ambiente, en particular los esfuerzos por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, están pasando

pasada década.

Los altos precios del petróleo vigentes entre 1973 y 1985 (mercado de vendedores) favorecieron cierto avance en el sentido que indican los patrones del nuevo paradigma energético (ahorro energético y fomento de fuentes renovables); sobre todo en los países altamente desarrollados. Sin embargo, en esta primera etapa no cabría asignar el calificativo de sostenible a la reestructuración energética llevada a cabo ya que, si bien algunos de los cambios estructurales ocurridos han resultado en gran medida irreversibles, las consideraciones ambientales no cuentan entre los principales factores que indujeron las transformaciones energéticas emprendidas en esos años.

La evolución del mercado petrolero internacional a partir de 1986, caracterizada por la persistencia de precios moderados o relativamente bajos de los hidrocarburos (mercado de compradores), ha tendido a erosionar significativamente las potencialidades de los factores económicos o de mercado para inducir transformaciones ulteriores en las direcciones de una reestructuración energética sostenible.

En la discusión acerca de las **potencialidades y limitaciones económicas** para una reestructuración energética sostenible cabe diferenciar dos niveles básicos:

- la existencia de un potencial teórico o tecnológicamente viable para ahorrar energía y/o fomentar fuentes renovables, cuyo aprovechamiento no se justifica económicamente en el presente. Para vencer esta barrera económica se requeriría, entre otras cosas, dedicar un esfuerzo especial a la inversión en I-D, para reducir tendencialmente los costos de las tecnologías energéticas sostenibles hasta hacerlas competitivas.
- la existencia de un potencial para invertir en tecnologías energéticas sostenibles, que se justifica económicamente, pero no se aprovecha. En este caso, las principales barreras no son estrictamente económicas, pero suelen estar asociadas a entornos de inversión poco competitivos, donde predominen problemas organizacionales, institucionales, déficit de personal calificado, etc.. Estas barreras afectan sobre todo a las economías subdesarrolladas y a ciertos

sustitución de los combustibles fósiles más contaminantes por gas natural, como elemento de transición entre los actuales sistemas energéticos y posibles sistemas futuros con mayor participación de fuentes renovables.

Este debate acerca de la necesidad de una reestructuración energética sostenible a escala global constituye una de las dimensiones más importantes del debate más amplio sobre medio ambiente y desarrollo, donde la tesis acerca del desarrollo sostenible tiene un lugar clave.

El término **reestructuración energética sostenible**, definido en esta investigación, se refiere básicamente a un proceso de cambio significativo en las condiciones de producción y consumo de energía a escala global, que supone una modificación sustancial en la estructura del balance energético mundial, y que incorpora no sólo variables económicas, políticas y sociales, sino también variables y consideraciones ambientales.

Además de reducir el impacto adverso del sector energético sobre el medio ambiente, una reestructuración energética sostenible estaría llamada a disminuir la vulnerabilidad de las economías nacionales ante la inestabilidad en los precios de los combustibles tradicionales, y a prolongar la vida útil de los recursos energéticos no renovables para su aplicación en procesos industriales de transformación.

En lo referido a las potencialidades y limitaciones para una reestructuración energética sostenible, cabe apuntar que las principales transformaciones ocurridas en los sistemas energéticos internacionales desde comienzos de los 70 se han configurado bajo el efecto de dos tipos de factores fundamentales:

- **consideraciones de mercado**, relacionadas con la evolución de los precios internacionales del petróleo;
- **consideraciones ambientales**, asociadas a las implicaciones ecológicas adversas derivadas del sector energético.

Las consideraciones de mercado, relacionadas con la evolución de los precios internacionales de los hidrocarburos, han sido hasta el momento el elemento clave en la determinación del ritmo de la reestructuración energética; en tanto las consideraciones ambientales han ido ganando fuerza, gradualmente, desde la

Por su parte, la "Tercera Revolución Industrial" (1970s-???) apunta, como tendencia necesaria y posible, hacia un nuevo paradigma energético, que promueve la generación y difusión de tecnologías energéticas sostenibles. Visto desde el prisma de análisis de los estudios más recientes acerca de las "ondas largas" de la economía capitalista, pudiera decirse que la fase inicial de la "Tercera Revolución Industrial" correspondería al nuevo "paradigma tecno-económico" definido por Freeman y Pérez (1988).

El enfoque teórico acerca del "nuevo paradigma tecno-económico" dedica especial atención a las transformaciones tecno-económicas que se desencadenaron a partir del encarecimiento de la energía durante la década de los años 70 y comienzos de los 80; de tal forma que el impacto ambiental favorable resultante de tales transformaciones, sería un efecto colateral, aunque sin dudas de gran trascendencia.

Por su parte, autores como Goldemberg, Johansson, Reddy y Williams (1987), que suscriben la concepción acerca del "nuevo paradigma energético" centran su atención en las transformaciones tecnológicas que se requerirían para reducir el impacto negativo del sector energético sobre el medio ambiente, aún en condiciones de bajos precios de la energía. Sobre esta base, se aboga por sistemas energéticos sostenibles donde se conceda prioridad al ahorro y conservación de energía y al incremento del aporte de las fuentes energéticas nuevas y renovables.

A pesar de las diferencias existentes entre los elementos de partida de la teoría sobre el "nuevo paradigma tecno-económico" y la concepción acerca del "nuevo paradigma energético", pueden identificarse ciertos puntos de contacto entre ambos enfoques, en lo referido a la base energética de la llamada "Tercera Revolución Industrial".

A partir de este análisis teórico y siguiendo una perspectiva de largo plazo, el estudio del vínculo entre tecnología, energía y medio ambiente en el contexto actual revela la **necesidad de avanzar en el sentido de una reestructuración energética sostenible, cuyas direcciones básicas serían el incremento de la eficiencia energética; el fomento de fuentes no fósiles, sobre todo las renovables; y la**

ANEXOS

Anexo II.1

Principales características de los gases de efecto invernadero

Indicadores	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	CFC-12
-Concentración atmosférica	ppmv	ppmv	ppmmv	ppbv	ppbv
1750-1800	280	0.80	288	0	0
1990	353	1.72	310	280	484
-Variación anual actual	1.8	0.015	0.8	9.5	17
Cambio en %	0.6	0.9	0.25	4.0	4.0
-Persistencia en la atmósfera (años)	50-200	10	150	65	130
-Contribución al incremento del efecto invernadero en 1980-90 (%)	55	15	6	Todos los CFC: 24	
-Potencial de efecto invernadero en 100 años (CO ₂ =1)	1	21	290	3500	7300
-Reducciones necesarias para estabilizar los niveles actuales (%)	60	15-20	70-80	70-75	75-85

Nota:

CO₂: Dióxido de carbono.

CH₄: Metano

N₂O: Oxido nitroso

CFC: Clorofluorocarbonos

ppmv: partículas por millón en volumen.

ppmmv: partículas por mil millones en volumen

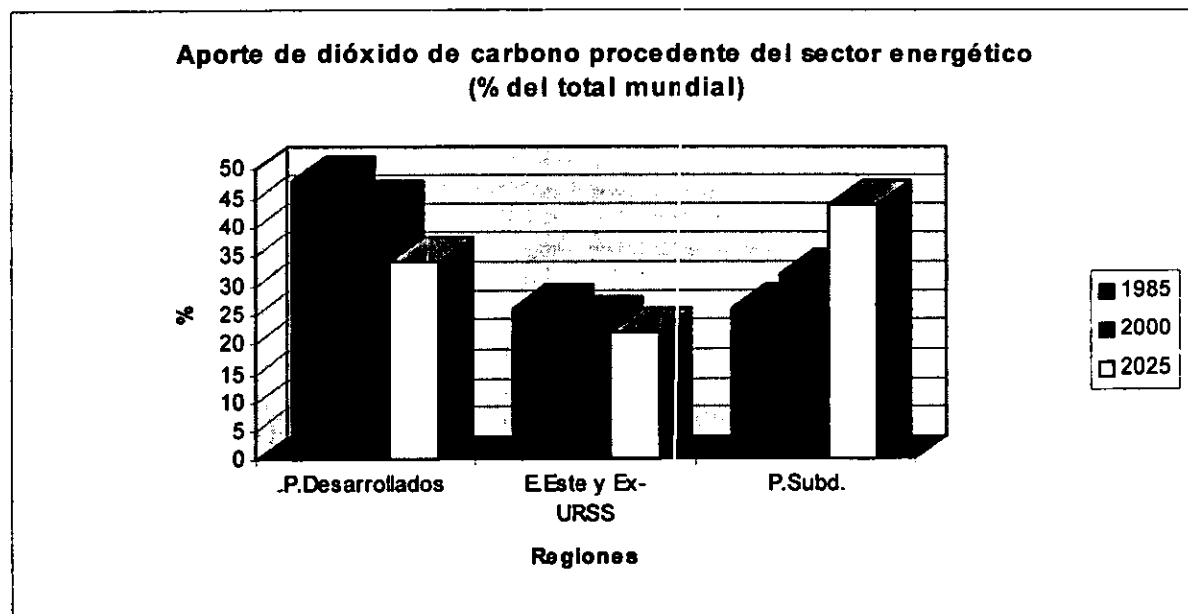
ppbv: partículas por billón en volumen.

Fuente: Tomado de IPCC (1992: 76-81).

Anexo II.2

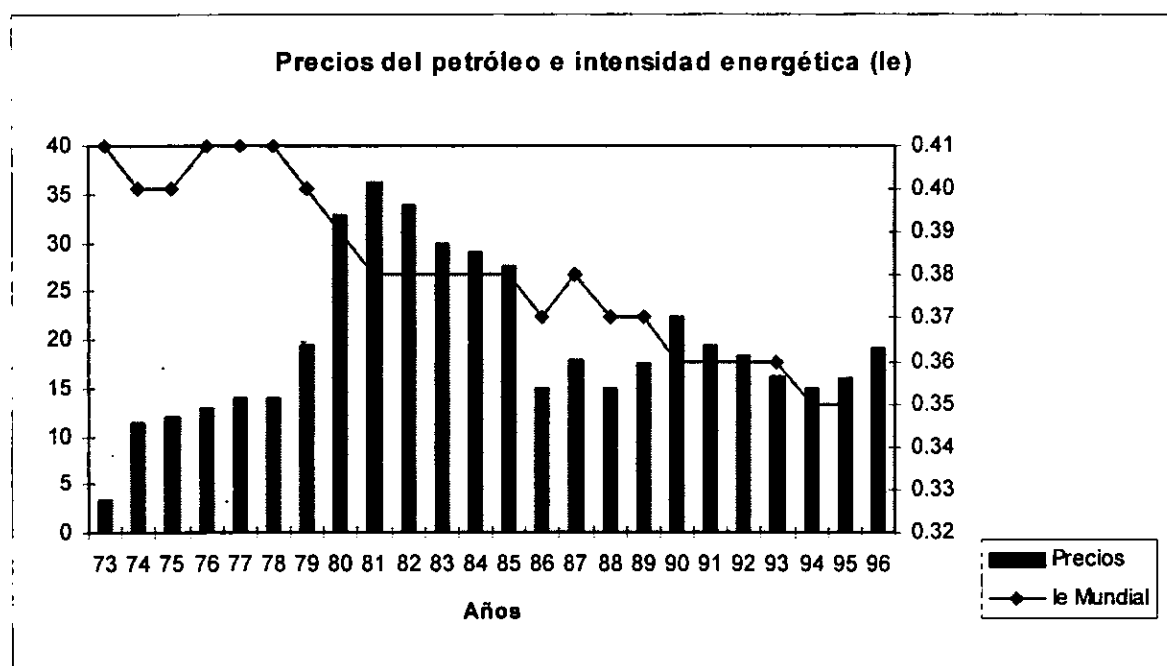
Emisiones brutas de CO₂ procedentes del sector energético
(miles de millones de toneladas de carbono/año)

Regiones y países	1985	% del Total	2000	% del Total	2025	% del Total
Total	5.15	100	7.30	100	12.43	100
P. más desarrollados	2.50	48	3.17	44	4.18	34
Norteamérica	1.34	26	1.71	23	2.37	19
Europa Occidental	0.85	16	0.98	13	1.19	10
OCDE-Pacífico	0.31	6	0.43	7	0.62	5
E. Este y ex-URSS	1.33	26	1.73	24	2.77	22
P. subdesarrollados	1.33	26	2.35	32	5.48	44
Africa	0.17	3	0.23	4	0.80	6
P. socialistas de Asia	0.54	10	0.83	12	1.80	14
Sur y este de Asia	0.27	5	0.56	8	1.55	12
América Latina	0.22	4	0.31	4	0.65	5
Medio Oriente	0.13	3	0.31	4	0.67	5



Fuente: Elaboración propia a partir de IPCC (1992: 138).

Anexo III.1



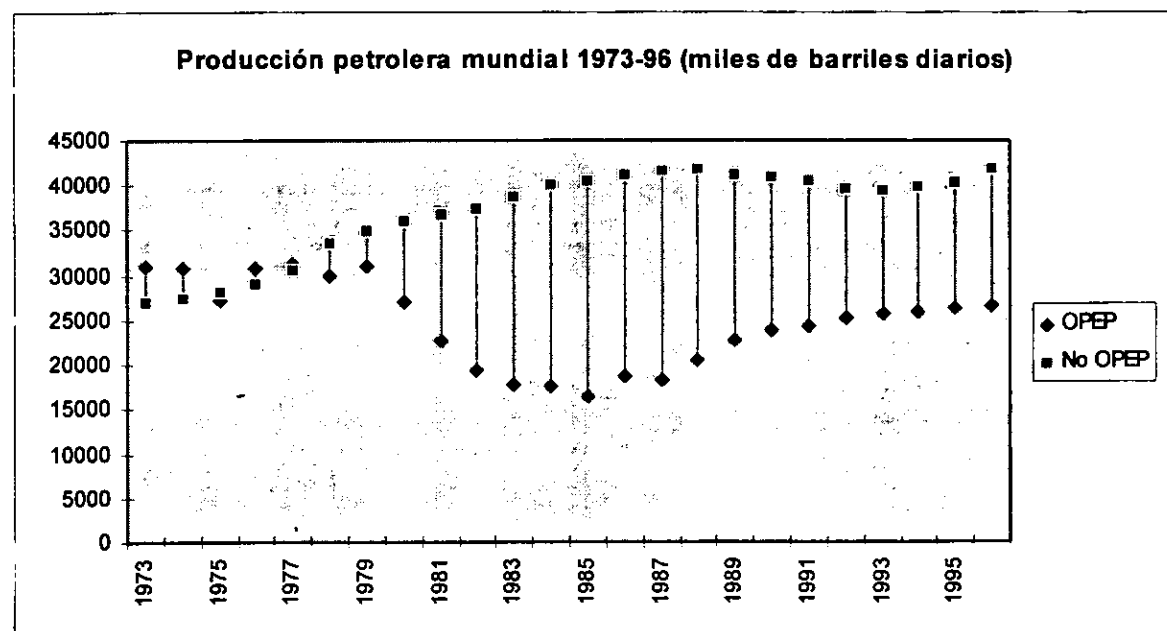
Nota:

Precios (escala izquierda): dólares/barril (promedio del crudo importado por la OCDE).

Intensidad energética mundial (escala derecha): toneladas equivalentes de petróleo/1000 dólares de PIB (dólares de 1990).

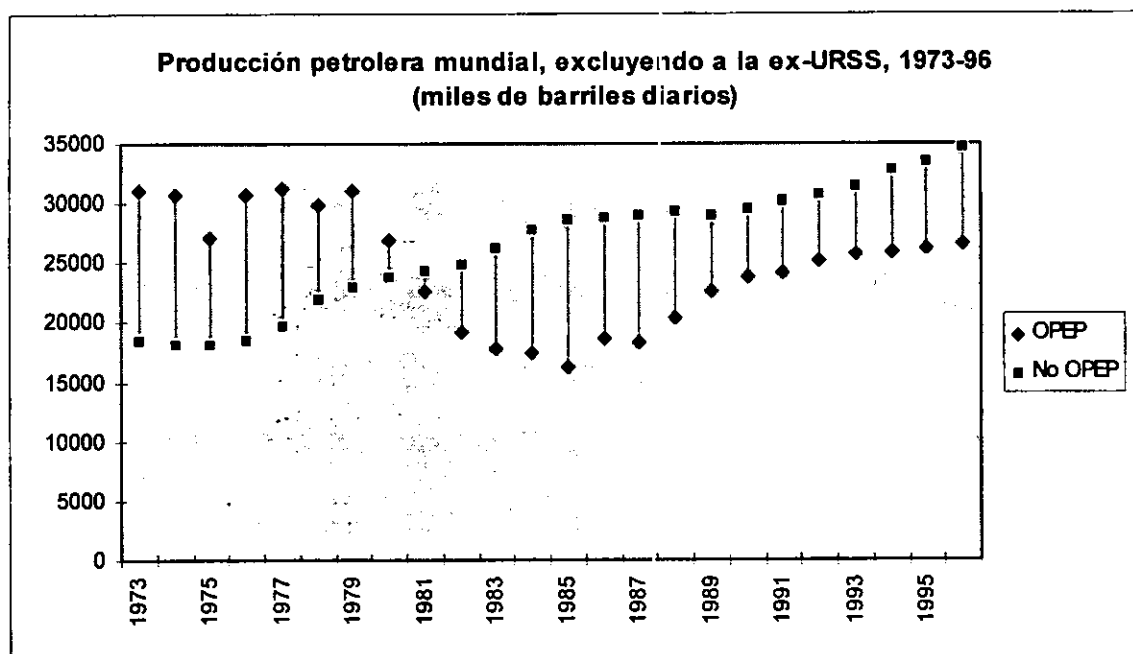
Fuente: Elaboración propia a partir de IEA (1996).

Anexo III.2



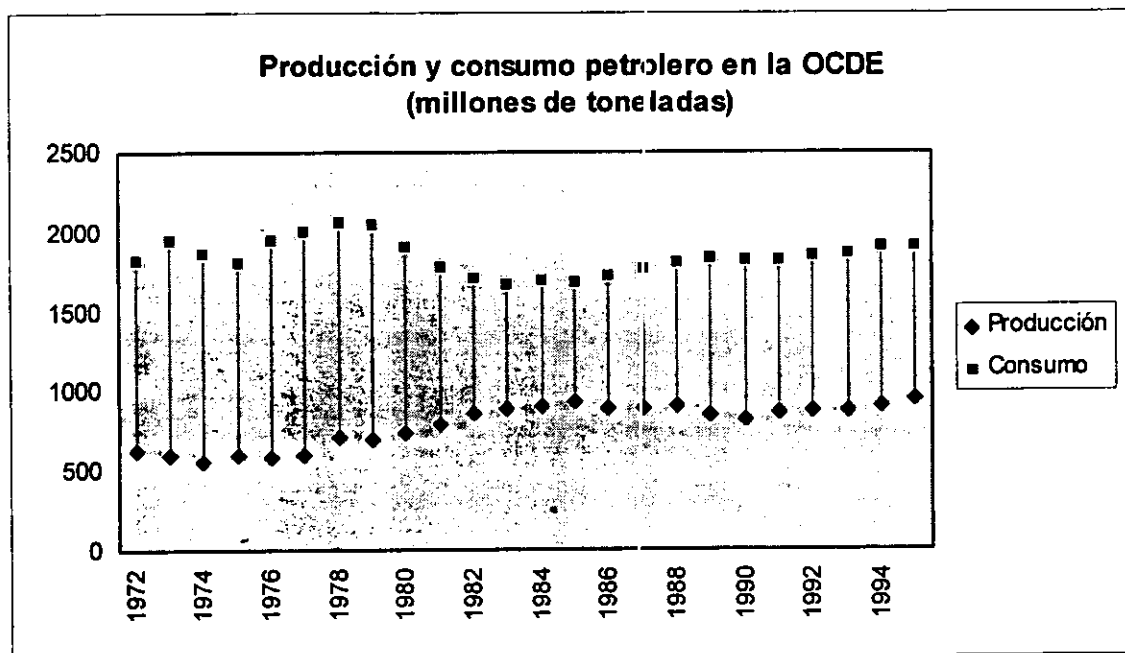
Fuente: Elaboración propia a partir de *Petroleum Economist*, enero 1995 y agosto 1997.

Anexo III.3



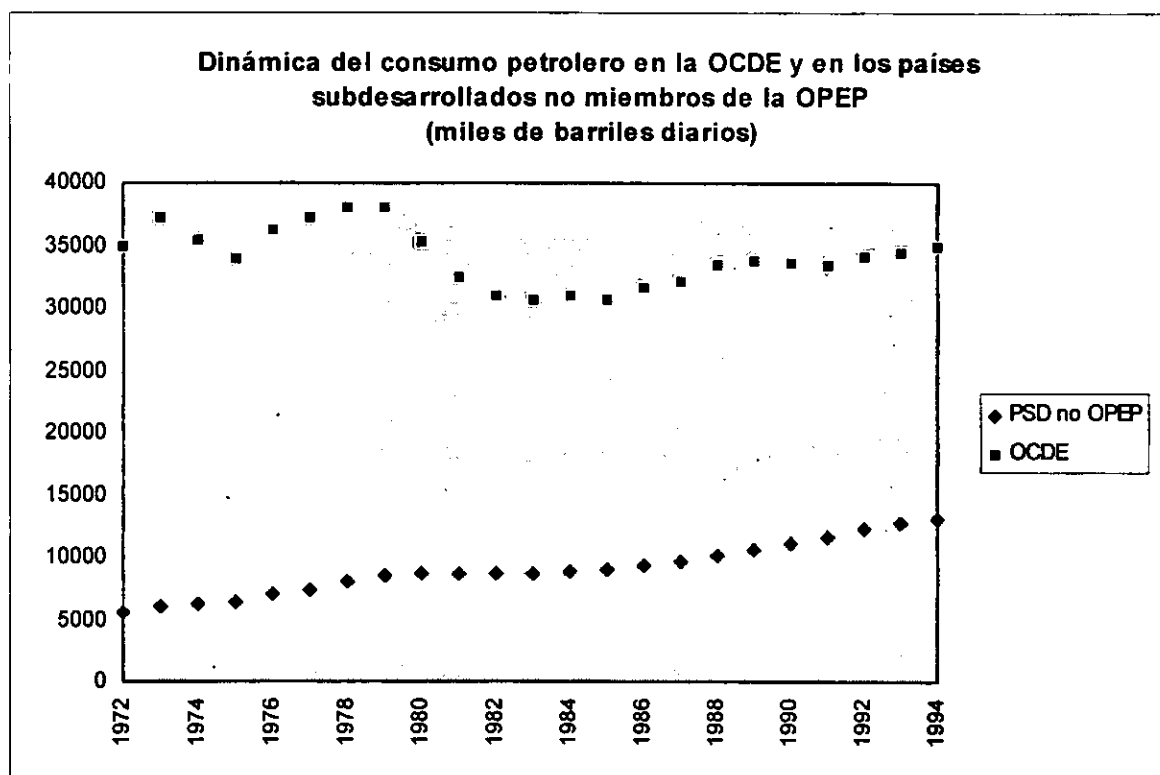
Fuente: Elaboración propia a partir de *Petroleum Economist*, enero 1995 y agosto 1997.

Anexo III.4



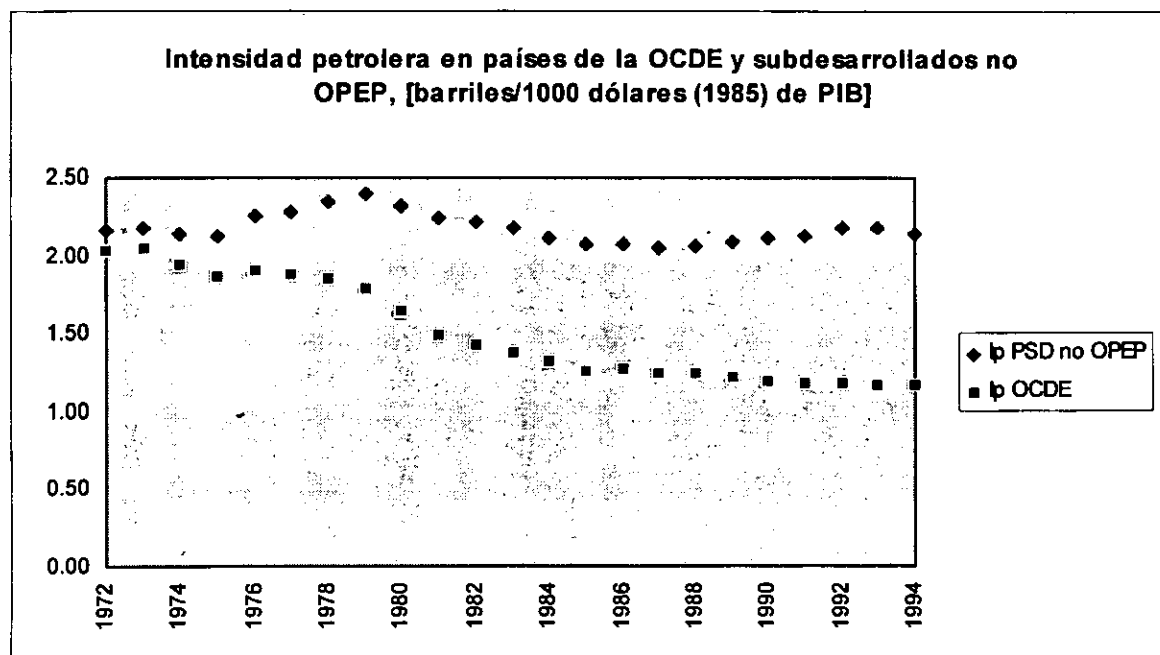
Fuente: Elaboración propia a partir de IEA (1996).

Anexo III.5



Fuente: Elaboración propia a partir de OPEC (1995)

Anexo III.6



Fuente: Elaboración propia a partir de OPEC (1995)

ANEXO IV.1: BALANCE ENERGETICO POR REGIONES, 1950-94 (% del total)

Regiones		Total	Petróleo	Carbón	Gas	Nucl-Hidr.	I. ENERG.	I. PETRL.
OCDE								
	1950	100,0	29,2	58,3	10,5	2,0	4,03	1,18
	1973	100,0	55,3	21,5	20,4	2,8	3,70	2,05
	1985	100,0	46,2	27,3	20,4	6,1	2,74	1,26
	1994	100,0	45,6	24,1	23,7	6,7	2,55	1,16
EE.UU.								
	1950	100,0	39,6	41,9	17,4	1,1	4,32	1,71
	1973	100,0	47,8	19,2	31,1	1,9	3,98	1,90
	1985	100,0	44,5	27,5	24,2	3,8	2,84	1,26
	1994	100,0	42,1	27,6	26,5	3,8	2,77	1,17
JAPON								
	1950	100,0	4,9	84,8	0,2	10,1	1,88	0,09
	1973	100,0	78,2	18,2	1,5	2,2	2,68	2,09
	1985	100,0	59,6	23,7	10,2	6,5	1,80	1,07
	1994	100,0	60,2	19,4	2,6	7,9	1,67	1,01
EUROPA OCC.								
	1950	100,0	11,8	85,9	0,2	2,1	3,88	0,46
	1973	100,0	60,0	26,4	10,6	3,1	3,66	2,19
	1985	100,0	46,4	29,0	17,1	7,5	2,88	1,34
	1994	100,0	48,3	20,7	22,1	9,0	2,54	1,23
PSD no OPEP								
	1950	100	45,8	51,4	1,3	1,6	2,40	1,10
	1973	100	62,0	28,1	6,2	3,7	3,49	2,17
	1985	100	51,9	33,3	9,3	5,6	3,99	2,07
	1994	100	51,4	32,7	10,7	5,2	4,17	2,14
OPEP								
	1950	100	68,9	15,8	14,8	0,5	0,59	0,41
	1973	100	66,6	1,7	30,4	1,3	1,33	0,88
	1985	100	66,4	1,1	31,1	1,4	2,71	1,80
	1994	100	55,6	1,8	41,0	1,6	3,46	1,92
EE y ex-URSS								
	1950	100	14,4	82,4	2,7	0,5	15,12	2,18
	1973	100	32,6	49,7	16,5	1,2	13,44	4,38
	1985	100	28,4	46,6	22,8	2,2	12,78	3,64
	1994	100	22,5	48,2	26,6	2,7	13,69	3,08
TOT. MUNDIAL								
	1950	100	27,9	61,8	8,7	1,7	4,31	1,20
	1973	100	50,4	28,9	18,2	2,5	4,34	2,19
	1985	100	42,0	33,3	20,1	4,6	3,88	1,63
	1994	100	40,8	30,9	23,2	5,1	3,65	1,49

Notas:

I. ENERG: Intensidad energética (barriles de petróleo equivalente/1000 dólares de PIB).

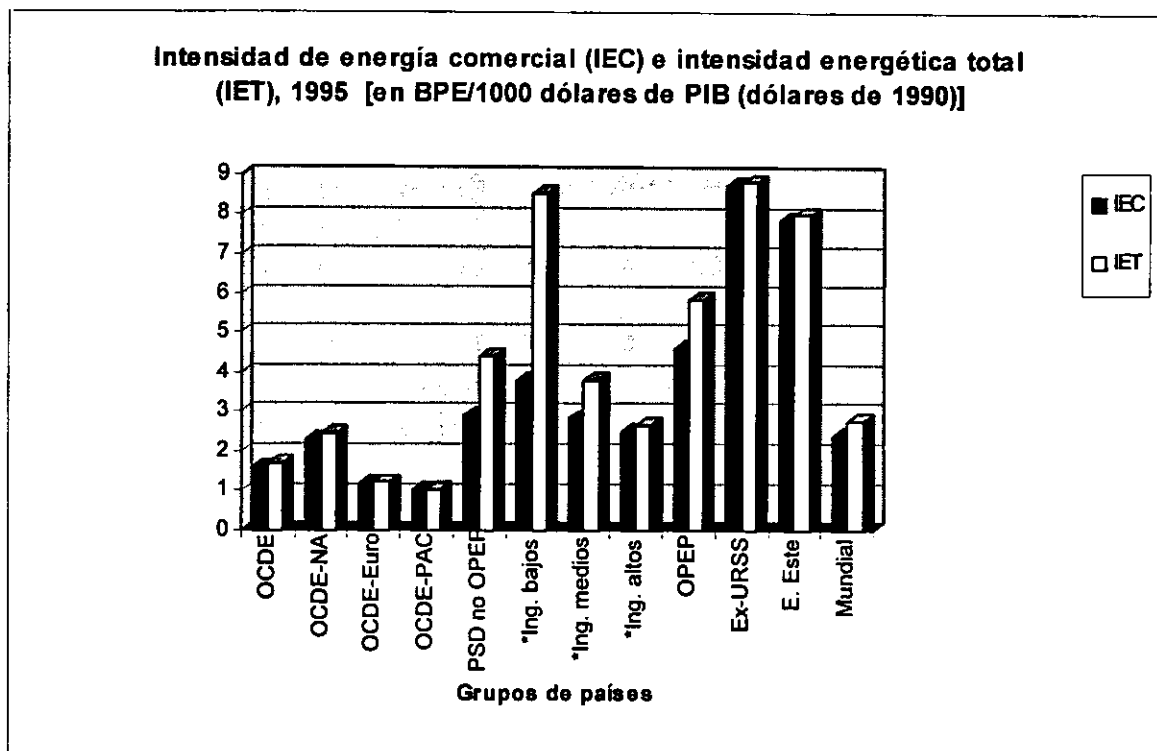
I. PETRL: Intensidad petrolera (barriles de petróleo equivalente/1000 dólares de PIB)

Fuentes: Elaborada a partir de: OPEC (1995: 28-35)

Anexo V.1

Intensidad de energía comercial (IEC) e intensidad energética total (IET), 1995,
[en BPE/1000 dólares de PIB (en dólares de 1990)]

Grupos de países	IEC	IET	IET de OCDE=100 (%)	Brecha (IET/IEC)
OCDE	1.60	1.67	100	1.043
-Norteamérica (NA)	2.32	2.44	146	1.051
-Europa (EURO)	1.17	1.21	72	1.034
-Pacífico (PAC)	1.12	1.13	68	1.008
P. subd. no OPEP	2.93	4.39	263	1.498
-Ingresos bajos	3.78	8.53	511	2.256
-Ingresos medios	2.84	3.77	226	1.327
-Ingresos altos	2.52	2.66	159	1.055
China	10.01	13.12	786	1.310
OPEP	4.61	5.82	349	1.262
Ex-URSS	8.74	8.82	528	1.009
Europa del Este	7.87	8.00	479	1.016
Total mundial	2.42	2.78	166	1.148



Nota:

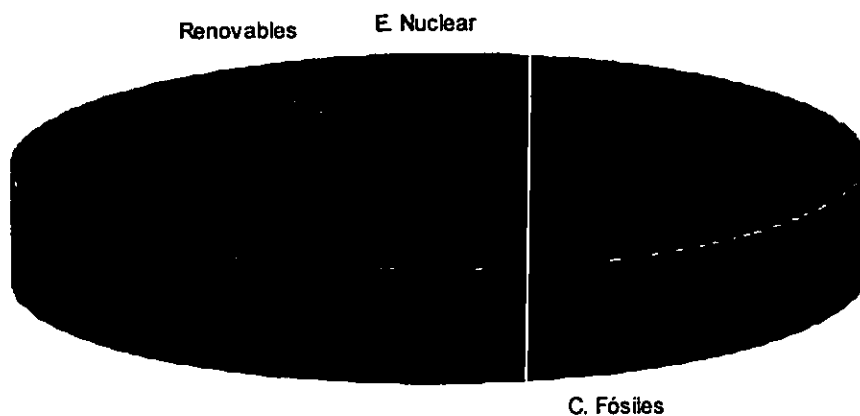
-13PE: Barriles de petróleo equivalente.

-La información de los países subdesarrollados (PSD) no OPEP aparece agregada, y desagregada en tres grupos de países, según sus niveles de PIB per cápita: bajos ingresos (menos de 2000 dólares); ingresos medios (2000-6000 dólares); e ingresos altos (más de 6000 dólares).

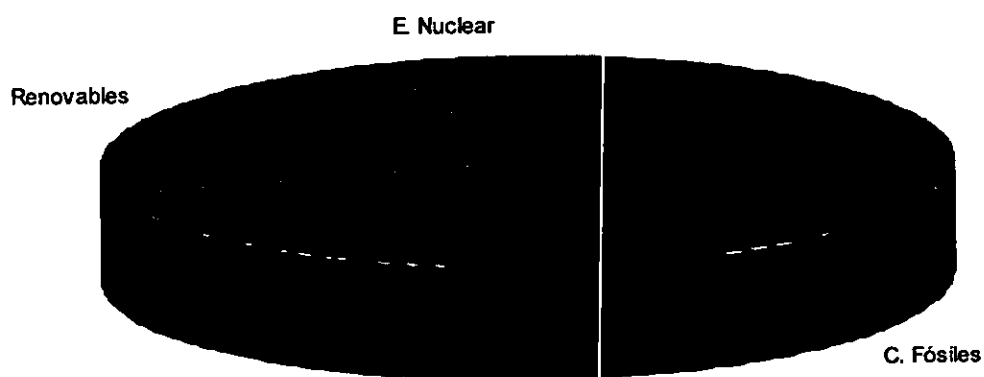
Fuente: Elaboración propia a partir de OPEC (1996).

Anexo VI.1

**Composición de la producción de energía primaria en México
1995 (en %)**



**Generación bruta de electricidad por fuentes en México
1995 (en %)**



Fuente: Elaboración propia a partir de SE(1996).

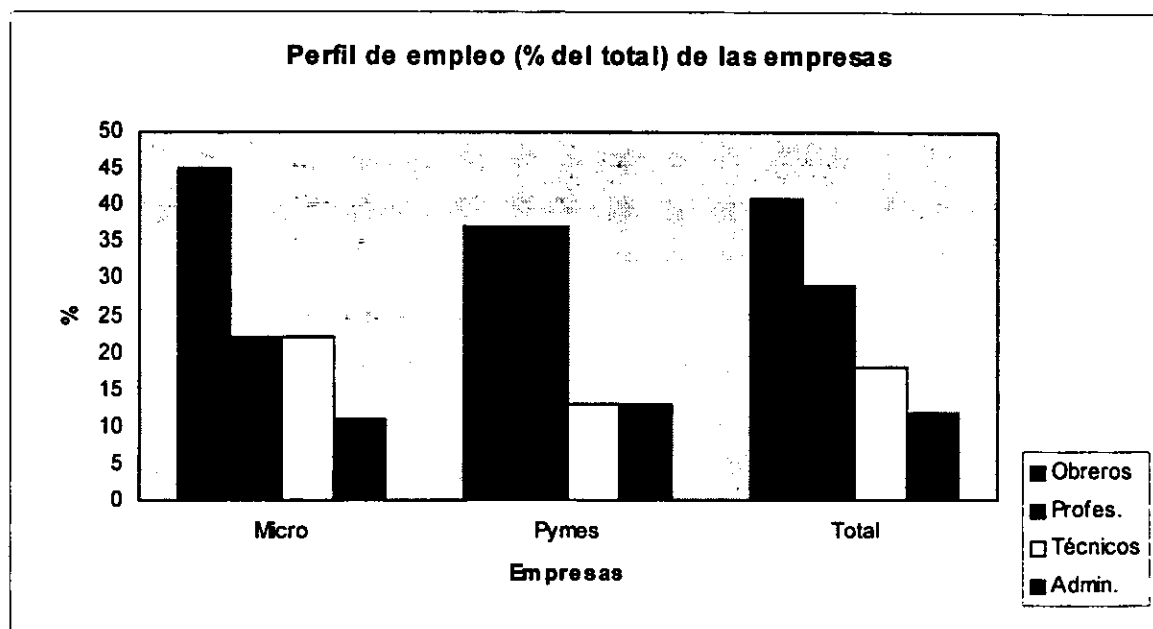
Anexo VI.2

Pequeñas empresas de energía sostenible en México

Perfil del empleo (% del total)

Tipo	Profesionistas	Administrat.	Técnicos	Obreros	Total
Micro	22	11	22	45	100
Pequeñas	35	9	9	47	100
Mediana	40	20	20	20	100
Pymes (*)	37	13	13	37	100
Total	29	12	18	41	100

Nota: (*) Se refiere a la información consolidada de las pequeñas y medianas empresas (Pymes).



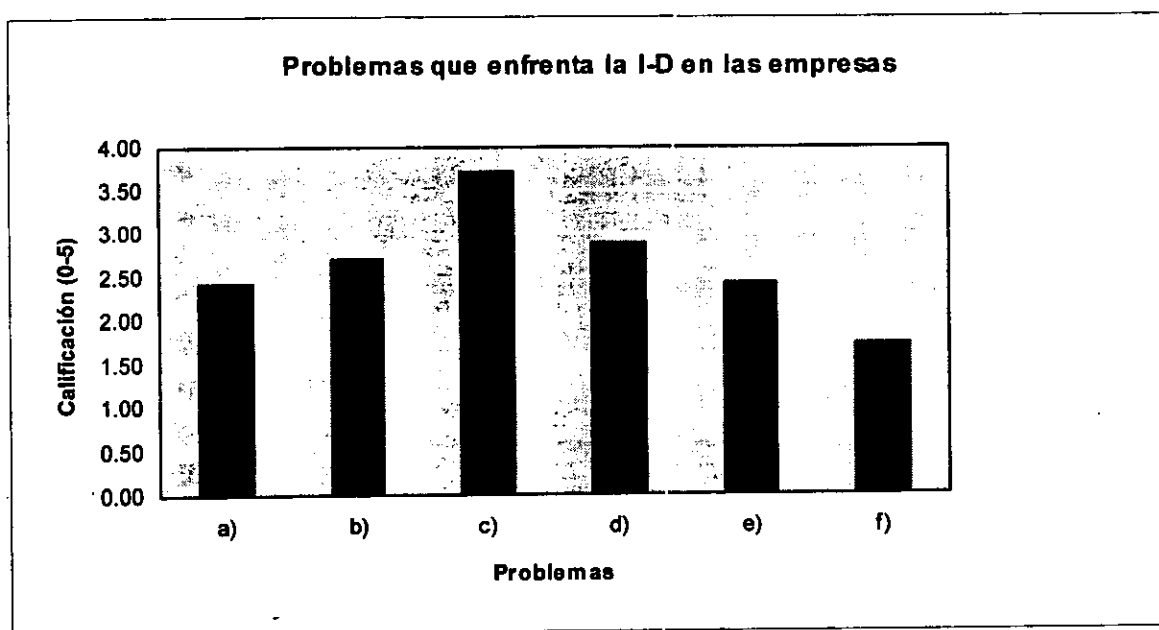
Fuente: Elaboración propia.

Anexo VI.3

Empresas de energía sostenible en México

Principales problemas que enfrenta la I-D en las empresas, según la opinión de empresarios e instituciones (escala de 0 a 5)

Problemas	Media	Empresarios	Instituciones
a) Definición de objetivos inadecuada	2.41	1.08	3.75
b) Déficit de personal calificado	2.69	2.12	3.25
c) Falta de financiamiento	3.72	3.52	3.92
d) Discontinuidad en la actividad de I-D	2.89	2.04	3.67
e) Retardo en los resultados	2.42	1.92	2.92
f) Incertidumbre en los resultados	1.71	1.16	2.25



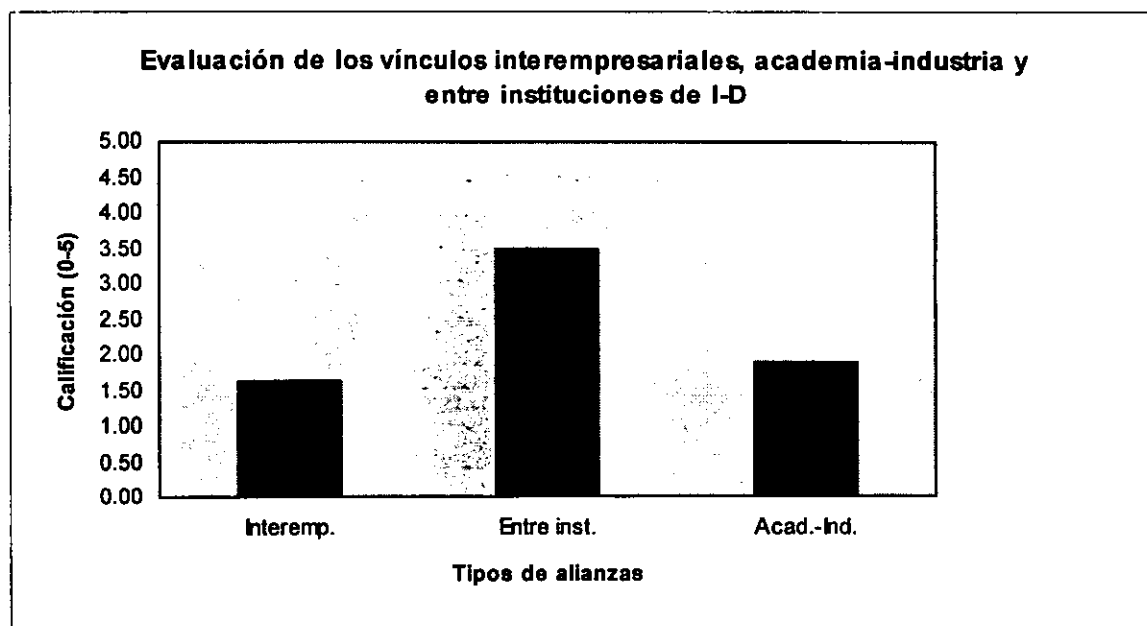
Fuente: Elaboración propia.

Anexo VI.4

Empresas de energía sostenible e instituciones de I-D afines, en México

Evaluación de los vínculos entre empresas e instituciones
(calificación en escala de 0 a 5)

Tipo de vínculos	Media	Opinión de empresarios	Opinión de instituciones
Interempresariales	–	1.64	–
Academia-industria	1.88	1.75	2.00
Entre instituciones de I-D	–	–	3.50



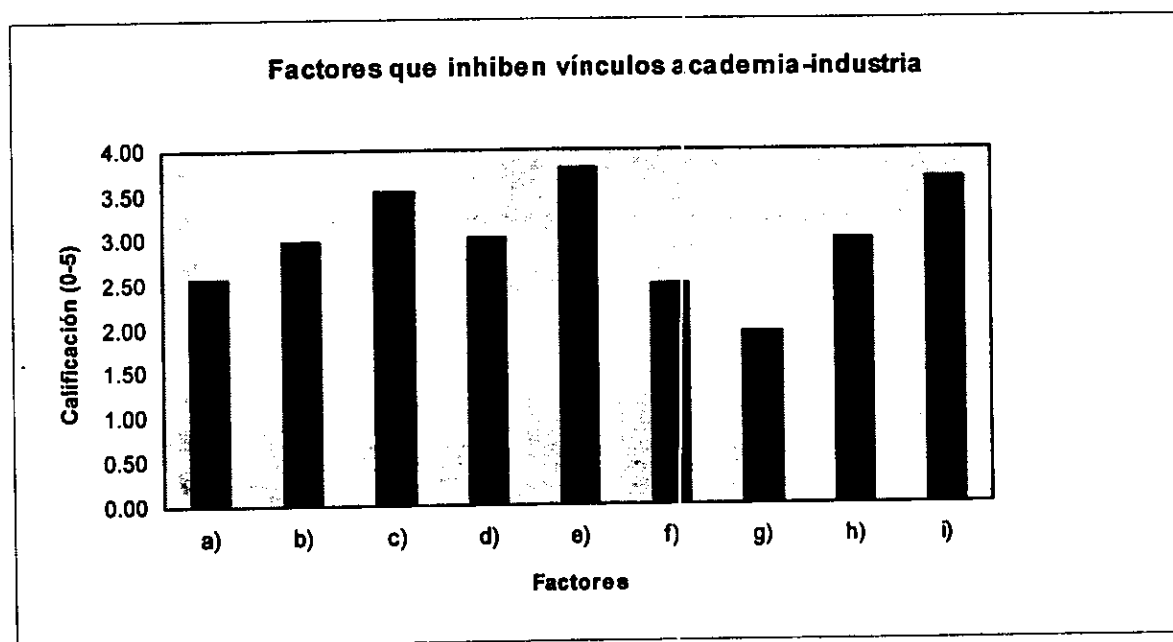
Fuente: Elaboración propia

Anexo VI. 5

Empresas de energía sostenible e instituciones de I-D afines, en México

Factores que inhiben los vínculos academia-industria, según la opinión de empresas e instituciones (calificación en escala de 0 a 5)

Factores	Media	Empr.	Instituc.
a) Falta de confianza entre las partes.	2.55	2.05	3.05
b) Enfasis de instituciones en investigaciones básicas.	2.97	3.10	2.83
c) Enfasis de empresas en beneficios inmediatos.	3.54	3.40	3.67
d) Desconoc. por instituciones del potencial para tales vínculos.	3.02	3.11	2.92
e) Desconoc. por empresas del potencial para tales vínculos.	3.79	3.50	4.08
f) Déficit de infraest. para la I-D en las instituc. de investigación	2.50	1.74	3.25
g) Déficit de personal de alta calificación en las instituc. de I-D.	1.95	1.40	2.50
h) Limitaciones financieras de las instituciones de I-D.	3.00	2.33	3.67
i) Limitaciones financieras de las empresas	3.67	3.50	3.83



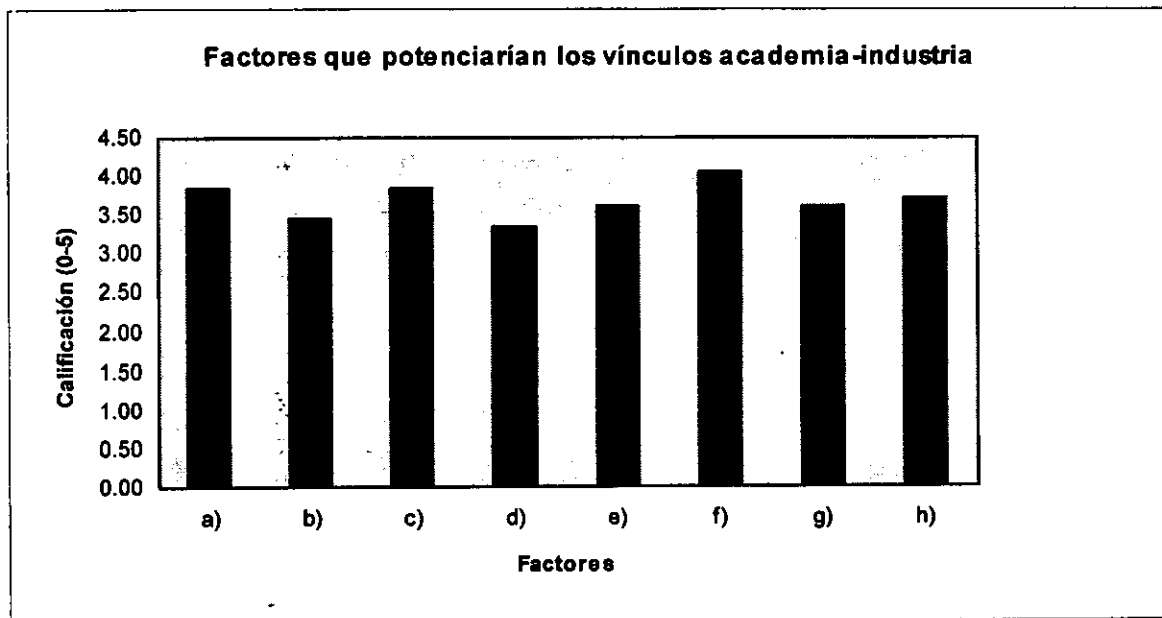
Fuente: Elaboración propia.

Anexo VI.6

Empresas de energía sostenible e instituciones de I-D afines, en México

Factores que potenciarían los vínculos academia industria, según la opinión de empresas e instituciones (calificación de 0 a 5)

Factores	Media	Empr.	Instit.
a) Confianza entre las partes	3.84	3.10	4.58
b) Posib. de aumentar por esa vía el prestigio de los investigadores.	3.45	3.40	3.50
c) Posib. de aumentar por esa vía el ingreso de los investigadores.	3.85	3.70	4.00
d) Posib. de aumentar por esa vía la capacitación de investigadores.	3.35	3.20	3.50
e) Posibilidad de compartir gastos y riesgos de la I-D entre las partes.	3.60	3.45	3.75
f) Posib. de mejorar por esa vía la capac. de respuesta empresarial	4.05	3.85	4.25
g) Déficit de personal de alta calificación en las empresas.	3.61	3.30	3.92
h) Déficit de infraestructura adecuada para la I-D en las empresas.	3.72	3.45	4.00



Fuente: Elaboración propia.

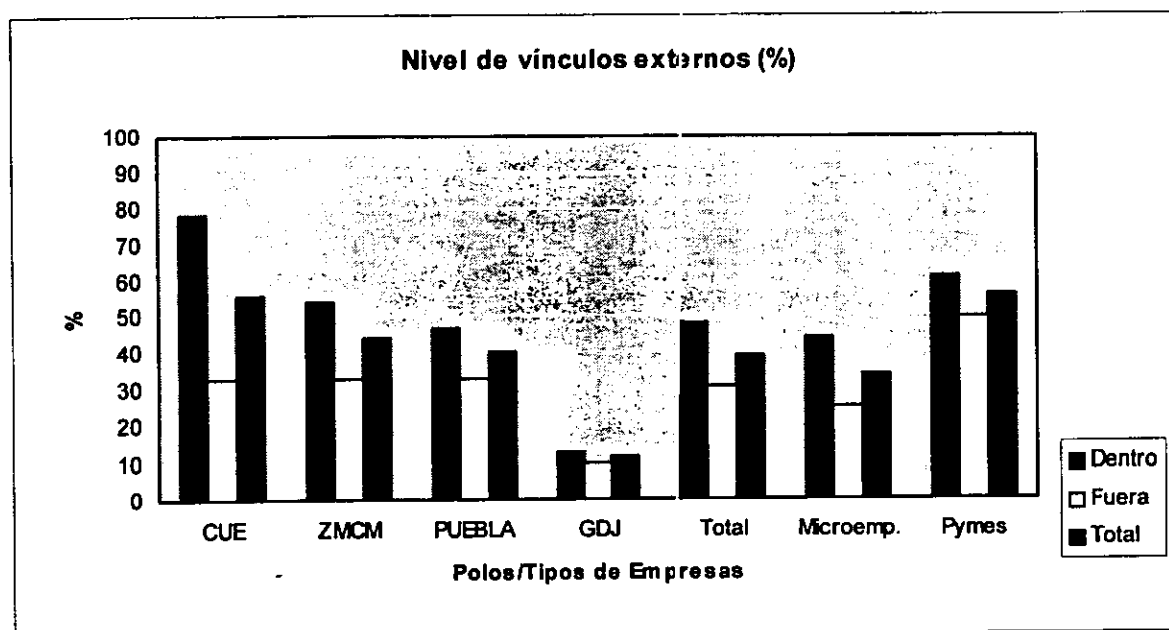
Tabla VI.7

Empresas de energía sostenible en México

**Aprovechamiento de los vínculos externos a la empresa
(en % del potencial existente)**

Polos y tipos de emp.	Dentro del Polo	Fuera del Polo	Total
Cuernavaca (3)	78	33	56
ZMCM (9)	54	33	44
Puebla (5)	47	33	40
Guadalajara (5)	13	10	12
Otras (3)	61	50	56
Total (25)	48	31	39
Microempresas (19)	44	25	34
Pymes (6)	61	50	56

Nota: Los números entre paréntesis indican la cantidad de empresas en cada grupo.



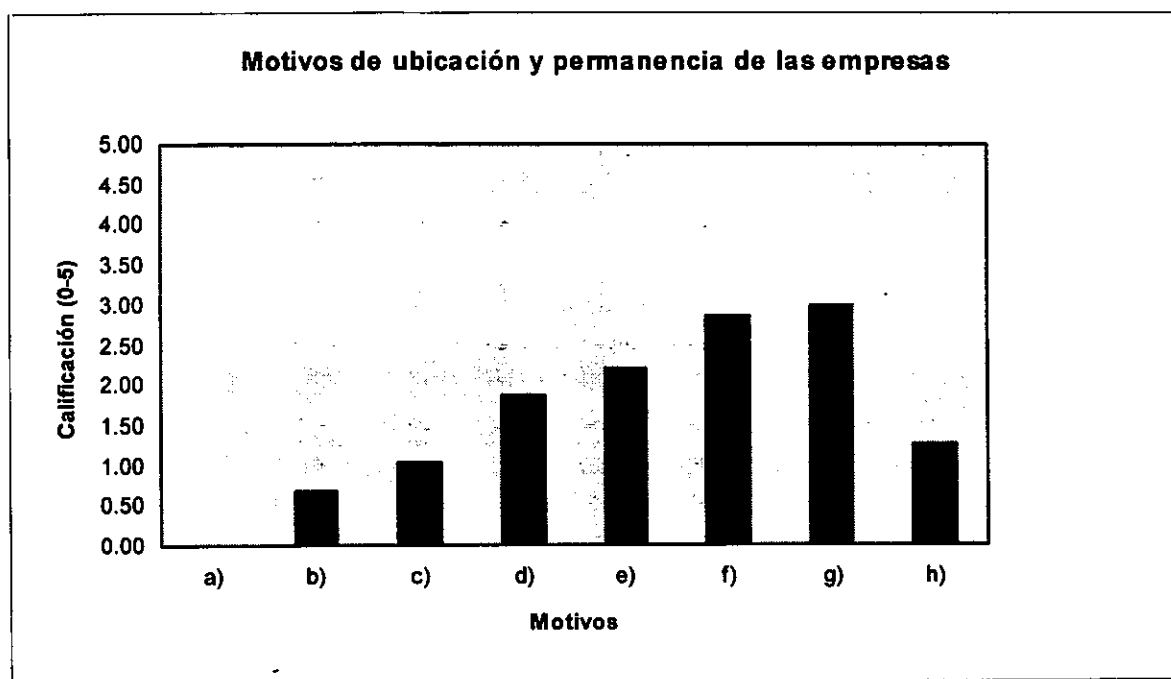
Fuente: Elaboración propia.

Anexo VI.8

Empresas de energía sostenible en México

Motivos de las empresas para instalarse en las regiones donde radican (escala de 0 a 5)

Motivos/Polos	CUE	ZMCM	PUE	GDJ	TOTAL
a) Políticas de apoyo favorables al polo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b) Vínculos con instituciones de I-D locales	1.00	0.67	0.60	0.00	0.68
c) Vínculos con otras empresas locales	1.00	1.44	2.00	0.00	1.04
d) Dimensiones del mercado local	1.67	3.44	1.00	0.80	1.88
e) Infraestructura de comunicaciones	1.33	3.44	2.80	0.80	2.20
f) Motivos familiares	5.00	1.56	3.60	3.00	2.88
g) Personales (propiedad de la tierra)	3.00	2.22	4.80	4.00	3.00
h) Calidad de la vida	4.00	0.11	3.20	0.00	1.28



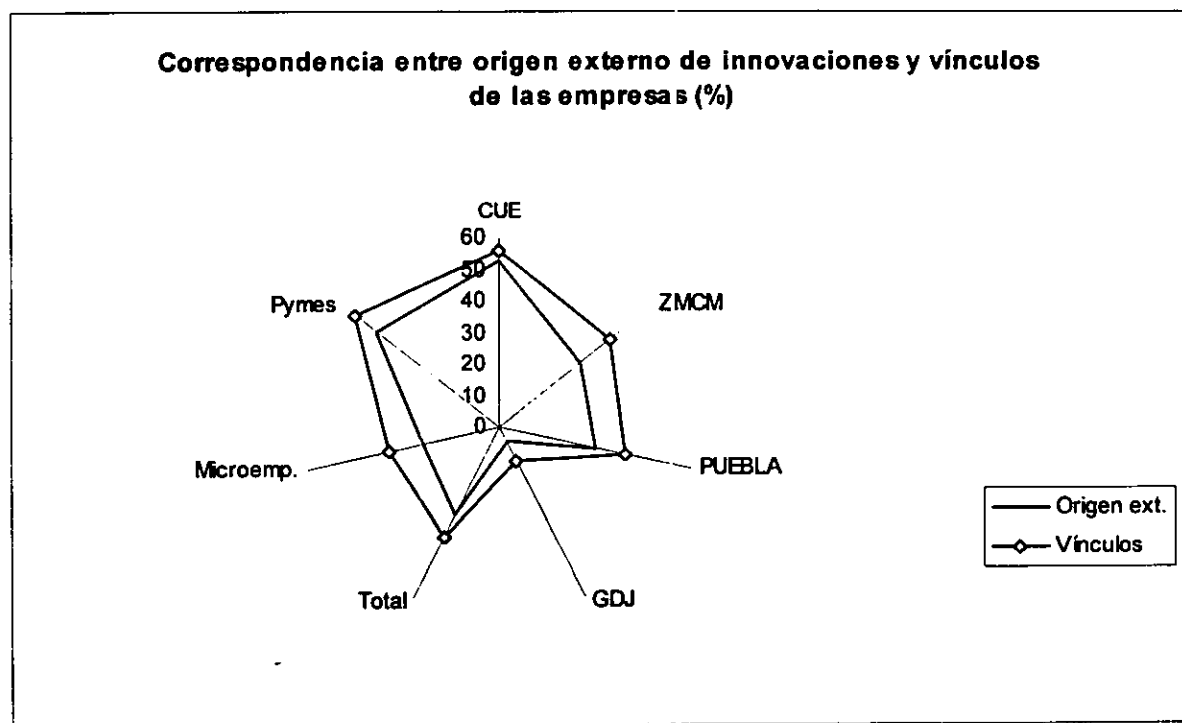
Fuente: Elaboración propia.

Anexo VI.9

Empresas de energía sostenible en México

Correspondencia entre el grado de procedencia externa de las innovaciones y el grado de vinculación de las empresas (en %)

Polos y tipos de empresas	Procedencia externa	Grado de vinculación
Cuernavaca	53	56
ZMCM	32	44
Puebla	30	40
Guadalajara	5	12
Otras	47	56
Total	31	39
Microempresas	24	34
Pymes	48	56



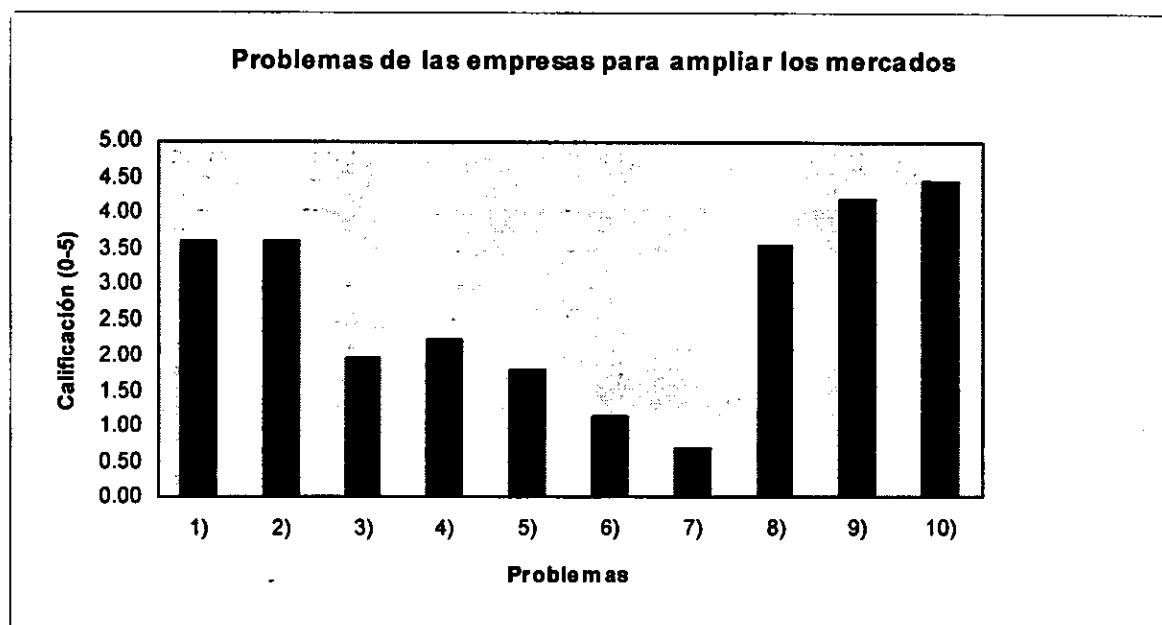
Fuente: Elaboración propia.

Anexo VI.10

Empresas de energía sostenible en México

Principales problemas de las empresas para ampliar sus mercados nacionales, según la opinión de empresarios e instituciones de investigación (escala de 0 a 5)

Factores	Media	Empresarios	Instituciones
1) Déficit de financiamiento	3.59	3.08	4.09
2) Falta de normas reguladoras de la actividad	3.61	2.96	4.25
3) Problemas administrativo-legales	1.98	0.96	3.00
4) Desconocimiento de los mercados	2.23	1.96	2.50
5) Poca capacidad de producción	1.80	0.52	3.08
6) Dificultades para acceder a los insumos	1.13	0.92	1.33
7) Déficit de mano de obra	0.70	0.56	0.83
8) Tarifas subsidiadas a los combustibles fósiles	3.54	2.82	4.25
9) Falta de incentivos fiscales a clientes	4.20	4.30	4.09
10) Falta de cultura energética de los clientes	4.46	4.00	4.92



Fuentes: Elaboración propia.

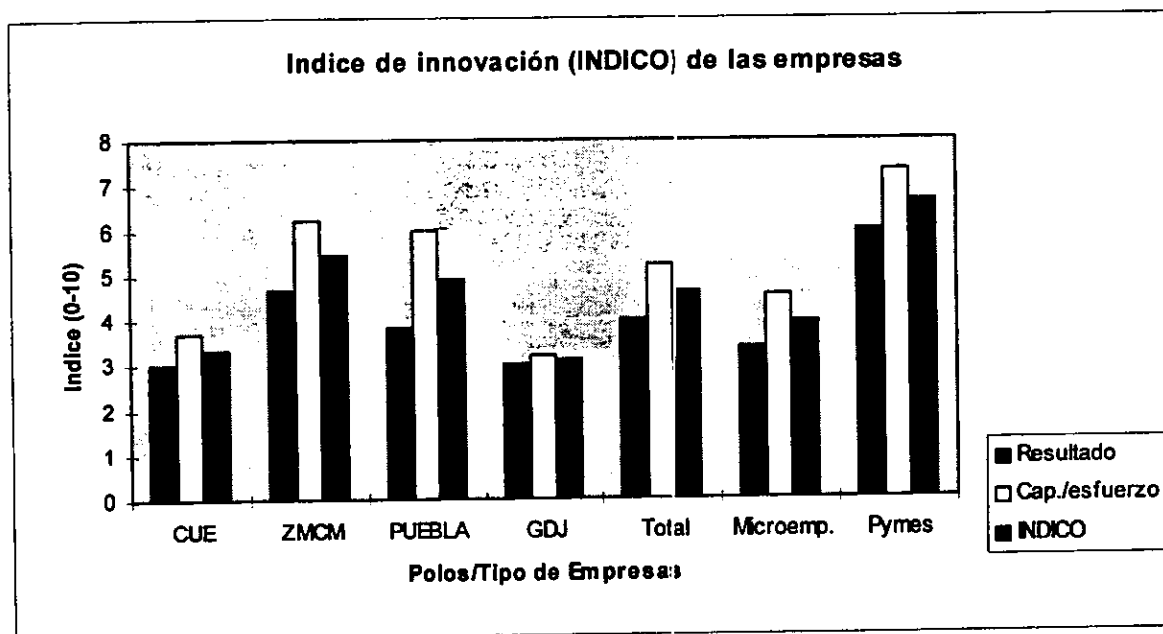
Anexo VI.11

Empresas de energía sostenible en México

Indice Indico promedio de las empresas (índice de innovación)
(totales en escala de 0 a 10)

Componentes básicos	Indicadores	Capac./esfuerzo	Resultados
I. Capacidad	1.1) Infraestructura de I-D	1.28 (4)	
II. Esfuerzo	2.1) Existencia o no de vínculos	0.84 (1)	
	2.2) Gastos en I-D/Ventas (%)	3.08 (5)	
III. Resultados	3.1) Innovaciones y Prop. intelectual		2.62 (7)
	3.2) Mercados de prod. innovadores		1.40 (3)
Totales	Indice Indico $= (5.20 + 4.02) / 2 = 4.61$	5.20 (10)	4.02 (10)

Nota: Los números entre paréntesis se refieren a los valores máximos de cada indicador.



Fuente: Elaboración propia

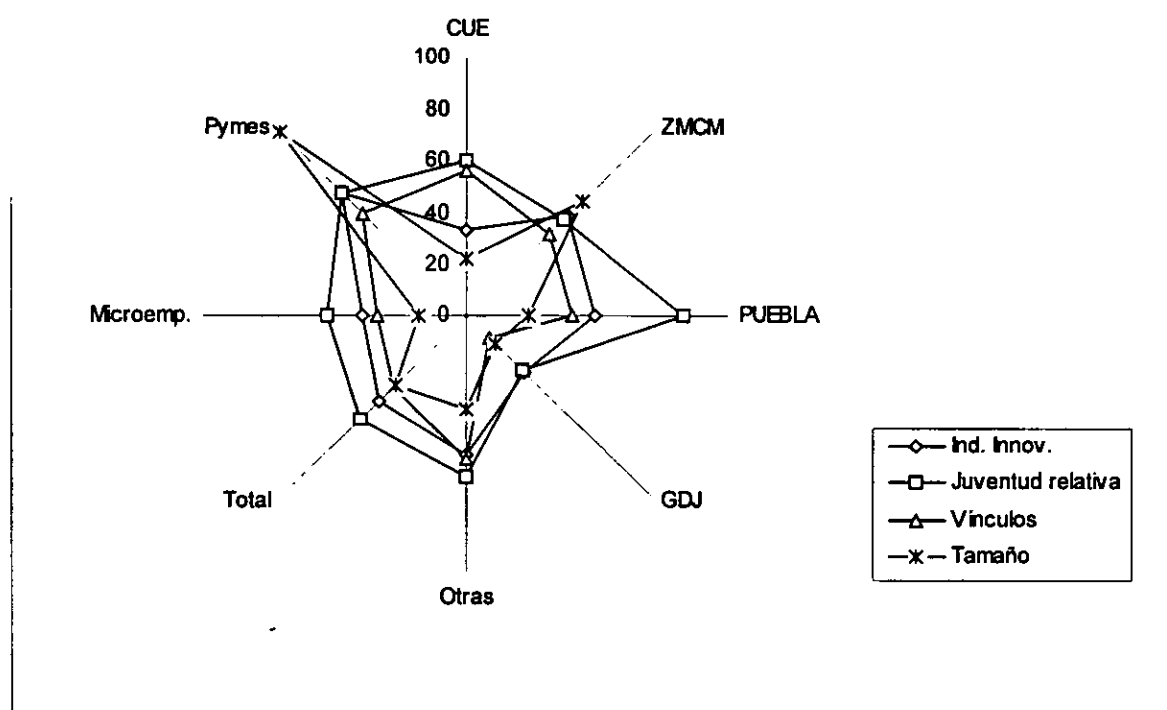
Anexo VI.12
Empresas de energía sostenible en México

Desempeño innovador y principales variables explicatorias

Polos y tipos de emp.	Desempeño innovador (escala de 0 a 10)	% Pymes*	Edad media (años)	Vinculación (%)
Cuernavaca	3.33	0	12	56
ZMCM	5.44	44	14	44
Puebla	4.90	20	5	40
Guadalajara	3.10	0	21	12
Otras	5.42	33	11	56
Total	4.61	24	13	39
Microempresas	3.96	0	14	34
Pymes	6.67	100	10	56

Nota: * Se refiere a la proporción de Pymes en la estructura empresarial del polo o grupo de empresas.

Desempeño innovador de las empresas y variables explicatorias



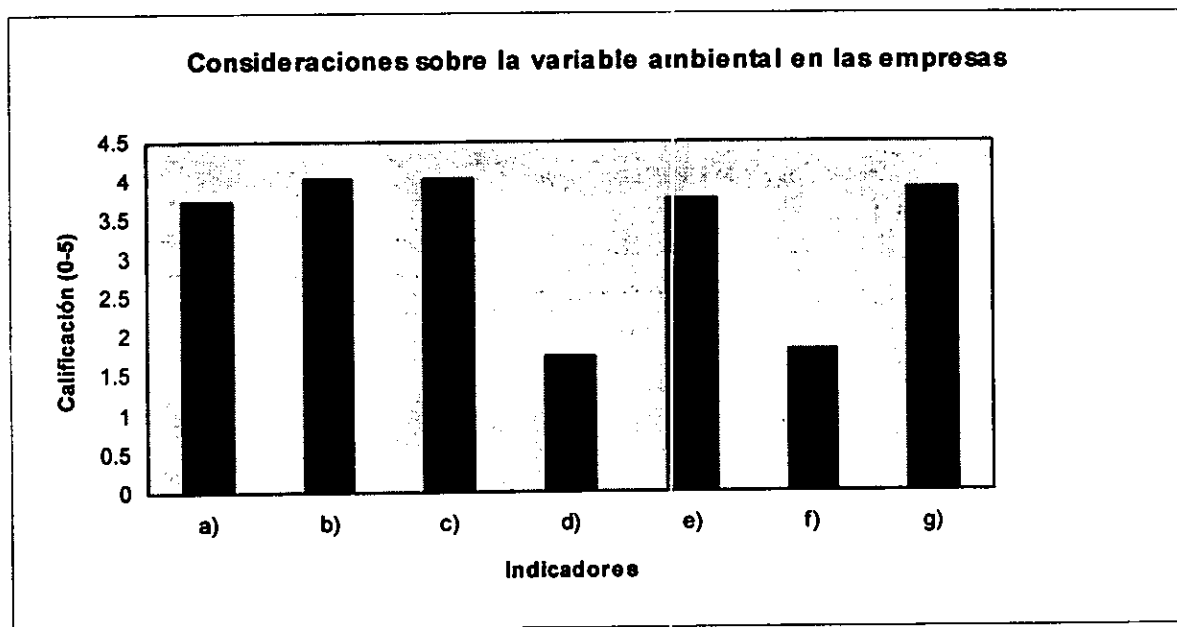
Nota: Los indicadores están expresados como números índice.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo VI.13
Empresas de energía sostenible en México

Variable ambiental (VA) en las empresas, según la opinión de empresarios e instituciones de I-D (escala de 0 a 5)

Indicadores	Media	Empr.	Instit.
a) Uso de la VA como factor promocional de ventas	3.75	3.75	3.75
b) Reconocimiento del aporte real de la empresa al ambiente	4.03	4.63	3.42
c) Posibilidad de mercado futuro para tecnologías energ. sostenibles	4.04	4.63	3.46
d) VA como factor que facilita la obtención de créditos en el presente	1.73	0.96	2.50
e) VA como factor que facilitaría la obtención de créditos futuros	3.78	3.38	4.25
f) VA como factor que facilita la obtención de apoyos en el presente	1.83	1.08	2.58
g) VA como factor que facilitaría la obtención de apoyos futuros	3.90	3.46	4.33



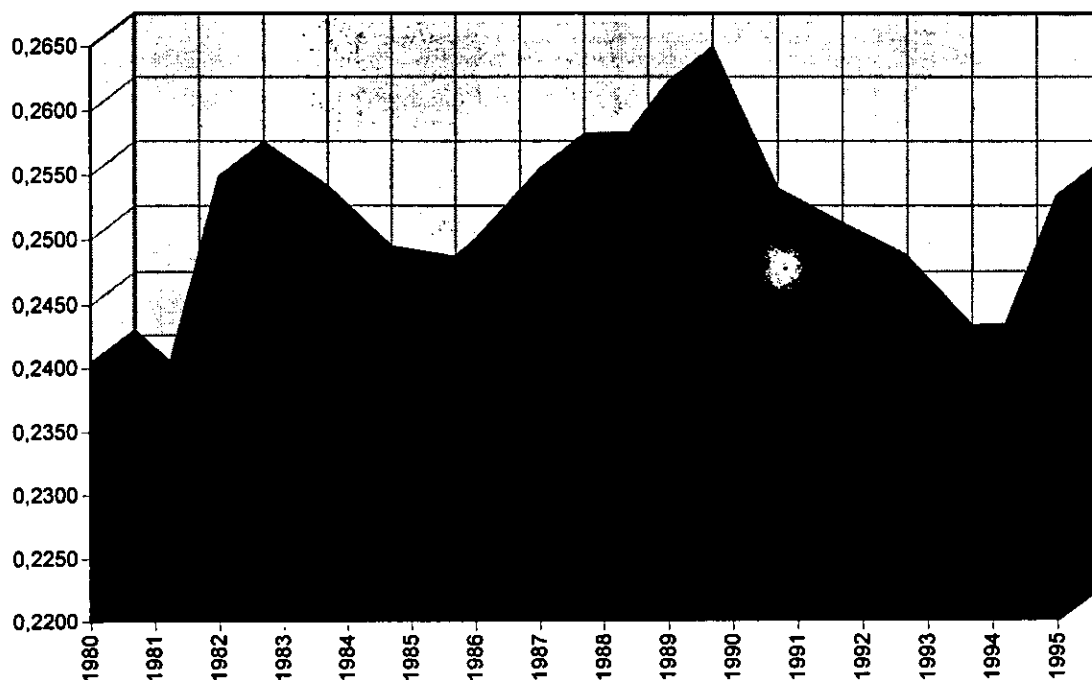
Fuente: Elaboración propia.

ANEXO VI.14 INTENSIDAD ENERGETICA DE MEXICO, 1980-95
ANALISIS CONSIDERANDO EL CONSUMO NACIONAL DE ENERGIA

Años	SECT. AGROP.		INDUSTRIA		RES-COM-PUB		TRANSPORTE		Ie Total
	Fa	Ia	Fi	Ii	Fs	Is	Ft	It	
1980	0,0823	0,0650	0,3276	0,4492	0,5262	0,0621	0,0639	0,8640	0,2404
1981	0,0812	0,0622	0,3279	0,4375	0,5263	0,0587	0,0646	0,8725	0,2358
1982	0,0801	0,0674	0,3232	0,4958	0,5366	0,0611	0,0601	0,9383	0,2549
1983	0,0854	0,0570	0,3071	0,5203	0,5464	0,0621	0,0612	0,8651	0,2515
1984	0,0837	0,0559	0,3107	0,4976	0,5435	0,0618	0,0621	0,8686	0,2468
1985	0,0841	0,0556	0,3177	0,4861	0,5360	0,0629	0,0623	0,8542	0,2460
1986	0,0861	0,0560	0,3111	0,4990	0,5403	0,0649	0,0626	0,8769	0,2500
1987	0,0854	0,0593	0,3156	0,5063	0,5358	0,0661	0,0632	0,8731	0,2555
1988	0,0817	0,0640	0,3190	0,5002	0,5355	0,0668	0,0639	0,8637	0,2557
1989	0,0768	0,0615	0,3258	0,5013	0,5330	0,0662	0,0644	0,9153	0,2623
1990	0,0785	0,0555	0,3295	0,4573	0,5264	0,0675	0,0657	0,9247	0,2513
1991	0,0765	0,0557	0,3286	0,4457	0,5278	0,0670	0,0671	0,9319	0,2486
1992	0,0734	0,0550	0,3296	0,4380	0,5267	0,0689	0,0703	0,8738	0,2461
1993	0,0748	0,0543	0,3280	0,4178	0,5250	0,0709	0,0721	0,8648	0,2407
1994	0,0737	0,0495	0,3298	0,4162	0,5214	0,0714	0,0751	0,8349	0,2408
1995	0,0762	0,0567	0,3261	0,4432	0,5186	0,0766	0,0792	0,8195	0,2534

Notas: F: Participación de cada sector en el PIB (a: agropecuario; i: industria; s: servicios; t: transporte).
I: Intensidad energética sectorial; Ie: Intensidad energética total (Gcal/peso de PIB a precios de 1980)

Dinámica de la intensidad energética de México, 1980-95
(Gcal/peso de PIB)



Fuente: Elaboración propia, a partir de SE (1996) e INEGI (1994-96).

ANEXO VII.1: INDICE DE AJUSTE AL NUEVO PARADIGMA ENERGETICO-I (IANPE I) 1993

No.	Indice agregado		Indice Parcial-1		Indice Parcial-2		Indice Parcial-3	
	PAISES	IANPE (I)	PAISES	ICG	PAISES	IECNF	PAISES	IECES
1	ISLANDIA	0,7936	BANGLAD	0,8425	PARAGUAY	1,0000	ALEMANIA	0,9480
2	SUECIA	0,7881	T.TOBAGO	0,8391	ISLANDIA	0,8361	JAPON	0,9460
3	FRANCIA	0,7756	MYANMAR	0,8118	SUECIA	0,7748	DINAMARC.	0,9414
4	NORUEGA	0,7518	ARGELIA	0,7354	FRANCIA	0,6684	AUSTRIA	0,9268
5	SUIZA	0,7173	N.ZELANDA	0,6571	ZAMBIA	0,5663	NORUEGA	0,9199
6	BELGICA	0,7040	ARGENTINA	0,5684	NORUEGA	0,5366	IRLANDA	0,9168
7	JAPON	0,6918	HUNGRIA	0,5417	SUIZA	0,5179	USA	0,9150
8	FINLANDIA	0,6899	INDONESIA	0,5332	FINLANDIA	0,4499	BELGICA	0,9130
9	ALEMANIA	0,6841	VENEZUELA	0,5240	URUGUAY	0,4498	ITALIA	0,9060
10	PARAGUAY	0,6830	EGIPTO	0,5164	FILIPINAS	0,4195	ISLANDIA	0,9047
11	CANADA	0,6830	MALASIA	0,5046	BELGICA	0,4110	FRANCIA	0,9015
12	AUSTRIA	0,6748	HOLANDA	0,5046	CANADA	0,3801	R.UNIDO	0,9008
13	N.ZELANDA	0,6612	BOLIVIA	0,4633	N.ZELANDA	0,3472	SUECIA	0,9006
14	R.UNIDO	0,6597	PAKISTAN	0,4440	ESPAÑA	0,3282	SUIZA	0,8910
15	USA	0,6541	CANADA	0,4377	JAPON	0,3277	HOLANDA	0,8815
16	ITALIA	0,6333	R.UNIDO	0,4344	HUNGRIA	0,3233	GABON	0,8776
17	DINAMARC.	0,6322	ITALIA	0,4174	KENYA	0,3208	FINLANDIA	0,8756
18	ESPAÑA	0,6302	NORUEGA	0,3890	GHANA	0,3060	CANADA	0,8753
19	IRLANDA	0,6263	AUSTRIA	0,3875	TANZANIA	0,3046	ESPAÑA	0,8538
20	HOLANDA	0,6224	NIGERIA	0,3741	SRI LANKA	0,2895	ISRAEL	0,8528
21	ARGENTINA	0,6162	IRLANDA	0,3727	ALEMANIA	0,2799	AUSTRALIA	0,8403
22	URUGUAY	0,6032	THAILANDIA	0,3500	COREA S.	0,2735	CHILE	0,8379
23	GABON	0,6017	FRANCIA	0,3426	AUSTRIA	0,2665	COREA S.	0,8325
24	COREA S.	0,6004	BELGICA	0,3285	BRASIL	0,2539	N.ZELANDA	0,8189
25	CHILE	0,5816	ALEMANIA	0,3129	R.UNIDO	0,2527	ARGENTINA	0,8091
26	HUNGRIA	0,5799	FINLANDIA	0,2955	USA	0,2525	PORTUGAL	0,7873
27	AUSTRALIA	0,5753	AUSTRALIA	0,2948	ARGENTINA	0,2463	URUGUAY	0,7805
28	ISRAEL	0,5713	USA	0,2932	GABON	0,2271	JAMAICA	0,7704
29	BRASIL	0,5432	COLOMBIA	0,2871	NEPAL	0,2232	GRECIA	0,7612
30	MALASIA	0,5373	DINAMARC.	0,2772	VENEZUELA	0,2223	BRASIL	0,7519
31	TURQUIA	0,5269	SUIZA	0,2730	ECUADOR	0,2115	MALASIA	0,7510
32	VENEZUELA	0,5203	MEXICO	0,2691	TURQUIA	0,1981	THAILANDIA	0,7469
33	THAILANDIA	0,5171	JAPON	0,2590	GUATEM.	0,1977	TURQUIA	0,7427
34	PORTUGAL	0,5144	CHILE	0,2444	COLOMBIA	0,1920	HUNGRIA	0,7145
35	MEXICO	0,5081	TURQUIA	0,2189	C.MARFIL	0,1854	MEXICO	0,7135
36	GRECIA	0,5064	ESPAÑA	0,1942	CHILE	0,1814	COLOMBIA	0,6970
37	COLOMBIA	0,5045	COREA S.	0,1887	MEXICO	0,1768	VENEZUELA	0,6687
38	JAMAICA	0,4997	INDIA	0,1867	ISRAEL	0,1654	PARAGUAY	0,6383
39	FILIPINAS	0,4567	BRASIL	0,1594	ITALIA	0,1599	CONGO	0,6069
40	MYANMAR	0,4548	SUECIA	0,1530	CONGO	0,1551	SRI LANKA	0,6017
41	SRI LANKA	0,4479	CHINA	0,1153	INDONESIA	0,1510	ECUADOR	0,5888
42	ARGELIA	0,4442	GRECIA	0,1072	HOLANDA	0,1437	CAMERUM	0,5852

ANEXO VII.1: INDICE DE AJUSTE AL NUEVO PARADIGMA ENERGETICO-I (IANPE I) 1993
(Continuación)

No.	Indice agregado		Indice parcial-1		Indice parcial-2		Indice parcial-3	
	PAISES	IANPE I	PAISES	ICG	PAISES	IECNF	PAISES	IECES
43	INDONESIA	0,4402	ISRAEL	0,1005	PORTUGAL	0,1400	GUATEM.	0,5852
44	T.TOBAGO	0,4308	MARRUECO	0,0923	CHINA	0,1399	T.TOBAGO	0,5781
45	BANGLAD.	0,4172	GABON	0,0705	AUSTRALIA	0,1387	INDONESIA	0,5693
46	CONGO	0,4172	CONGO	0,0654	CAMERUM	0,1383	ARGELIA	0,5634
47	ECUADOR	0,4167	BENIN	0,0000	PAKISTAN	0,1335	MARRUECO	0,5580
48	GUATEM.	0,4104	CAMERUM	0,0000	DINAMARCA	0,1321	FILIPINAS	0,5515
49	CAMERUM	0,3926	ECUADOR	0,0000	IRLANDA	0,1301	BENIN	0,5442
50	EGIPTO	0,3915	GHANA	0,0000	GRECIA	0,1299	ZIMBABWE	0,5434
51	BOLIVIA	0,3802	GUATEM.	0,0000	INDIA	0,1256	MYANMAR	0,5345
52	KENYA	0,3794	C.MARFIL	0,0000	JAMAICA	0,1247	SENEGAL	0,5344
53	PAKISTAN	0,3753	JAMAICA	0,0000	MALASIA	0,1209	EGIPTO	0,5227
54	MARRUECO	0,3726	KENYA	0,0000	BANGLAD.	0,1157	BOLIVIA	0,5019
55	GHANA	0,3650	NEPAL	0,0000	THAILANDIA	0,1132	BANGLAD.	0,4970
56	ZAMBIA	0,3556	PARAGUAY	0,0000	ARGELIA	0,1090	PAKISTAN	0,4848
57	ZIMBABWE	0,3507	FILIPINAS	0,0000	BOLIVIA	0,1090	INDIA	0,4744
58	INDIA	0,3410	SENEGAL	0,0000	NIGERIA	0,1030	CHINA	0,4738
59	CHINA	0,3378	SRI LANKA	0,0000	MARRUECO	0,0951	KENYA	0,4719
60	BENIN	0,3265	TANZANIA	0,0000	EGIPTO	0,0874	GHANA	0,4554
61	C.MARFIL	0,3259	URUGUAY	0,0000	ZIMBABWE	0,0823	C.MARFIL	0,4506
62	SENEGAL	0,3207	ZAMBIA	0,0000	MYANMAR	0,0176	NIGERIA	0,3764
63	NIGERIA	0,2942	ZIMBABWE	0,0000	BENIN	0,0000	NEPAL	0,3187
64	TANZANIA	0,2667	ISLANDIA	0,0000	SENEGAL	0,0000	ZAMBIA	0,3096
65	NEPAL	0,2582	PORTUGAL	0,0000	T.TOBAGO	0,0000	TANZANIA	0,2922
	NORTEAM.	0,6686	PACIF.(DES)	0,4036	EUROPA	0,3601	NORTEAM.	0,8952
	EUROPA	0,6658	NORTEAM.	0,3655	NORTEAM.	0,3163	EUROPA	0,8802
	PACIF.(DES)	0,6428	ASIA	0,3069	PACIF.(DES)	0,2712	PACIF.(DES)	0,8684
	A.LATINA	0,5152	EUROPA	0,2962	A.LATINA	0,2589	A.LATINA	0,6863
	ASIA	0,4487	A.LATINA	0,2581	AFRICA	0,1787	ASIA	0,6023
	AFRICA	0,3736	AFRICA	0,1236	ASIA	0,1776	AFRICA	0,5128
	TOTAL DES.	0,6630	TOTAL DES.	0,3162	TOTAL DES.	0,3447	TOTAL DES.	0,8800
	TOTAL PSD	0,4425	TOTAL PSD	0,2263	TOTAL PSD	0,2032	TOTAL PSD	0,5963
	TOTAL	0,5205	TOTAL	0,2581	TOTAL	0,2532	TOTAL	0,6967

Notas:

IANPE I = 0.1(ICG)+0.3(IECNF)+0.6 (IECES)

Fuente: Elaboración propia con información primaria de IEA (1989, 1994, 1996) y WRI (1996)

ANEXO VII.2: INDICE DE CONSUMO DE GAS 1993

No.	INDICE DE X1		INDICE DE X2		INDICE PARCIAL-1	
	PAISES	IND (X1)	PAISES	IND (X2)	PAISES	ICG
1	T.TOBAGO	1,0000	MYANMAR	1,0000	BANGLAD.	0,8425
2	BANGLAD.	0,8531	N.ZELANDA	0,8444	T.TOBAGO	0,8391
3	ARGELIA	0,7829	BANGLAD.	0,8265	MYANMAR	0,8118
4	MYANMAR	0,6864	INDONESIA	0,7289	ARGELIA	0,7354
5	VENEZUELA	0,6314	EGIPTO	0,7160	N.ZELANDA	0,6571
6	HOLANDA	0,6173	MALASIA	0,6936	ARGENTINA	0,5684
7	ARGENTINA	0,5444	ARGELIA	0,6618	HUNGRIA	0,5417
8	N.ZELANDA	0,5322	BOLIVIA	0,6123	INDONESIA	0,5332
9	PAKISTAN	0,5310	HUNGRIA	0,6083	VENEZUELA	0,5240
10	HUNGRIA	0,4973	ARGENTINA	0,6045	EGIPTO	0,5164
11	CANADA	0,4594	T.TOBAGO	0,5978	MALASIA	0,5046
12	INDONESIA	0,4028	NORUEGA	0,5803	HOLANDA	0,5046
13	EGIPTO	0,3833	IRLANDA	0,5617	BOLIVIA	0,4633
14	MALASIA	0,3785	THAILANDIA	0,5361	PAKISTAN	0,4440
15	R.UNIDO	0,3676	R.UNIDO	0,5345	CANADA	0,4377
16	BOLIVIA	0,3639	ITALIA	0,5179	R.UNIDO	0,4344
17	ITALIA	0,3504	FINLANDIA	0,4742	ITALIA	0,4174
18	USA	0,3436	NIGERIA	0,4706	NORUEGA	0,3890
19	AUSTRIA	0,3428	FRANCIA	0,4614	AUSTRIA	0,3875
20	NIGERIA	0,3097	AUSTRIA	0,4545	NIGERIA	0,3741
21	BELGICA	0,2911	DINAMARCA	0,4534	IRLANDA	0,3727
22	FRANCIA	0,2634	SUIZA	0,4399	THAILANDIA	0,3500
23	MEXICO	0,2619	AUSTRALIA	0,4241	FRANCIA	0,3426
24	NORUEGA	0,2615	JAPON	0,4193	BELGICA	0,3285
25	ALEMANIA	0,2472	ALEMANIA	0,4115	ALEMANIA	0,3129
26	IRLANDA	0,2466	CHILE	0,4077	FINLANDIA	0,2955
27	THAILANDIA	0,2260	CANADA	0,4052	AUSTRALIA	0,2948
28	COLOMBIA	0,2142	COLOMBIA	0,3965	USA	0,2932
29	AUSTRALIA	0,2086	TURQUIA	0,3873	COLOMBIA	0,2871
30	FINLANDIA	0,1764	BELGICA	0,3846	DINAMARCA	0,2772
31	SUIZA	0,1618	VENEZUELA	0,3628	SUIZA	0,2730
32	DINAMARCA	0,1597	COREA SUR	0,3530	MEXICO	0,2691
33	JAPON	0,1521	ESPAÑA	0,3432	JAPON	0,2590
34	CHILE	0,1355	INDIA	0,3425	CHILE	0,2444
35	GABON	0,1175	HOLANDA	0,3355	TURQUIA	0,2189
36	TURQUIA	0,1067	BRASIL	0,3174	ESPAÑA	0,1942
37	ESPAÑA	0,0949	PAKISTAN	0,3135	COREA SUR	0,1887
38	INDIA	0,0829	SUECIA	0,3124	INDIA	0,1867
39	COREA SUR	0,0792	MEXICO	0,2798	BRASIL	0,1594
40	BRASIL	0,0540	GRECIA	0,2605	SUECIA	0,1530
41	SUECIA	0,0467	CHINA	0,2535	CHINA	0,1153
42	CHINA	0,0231	ISRAEL	0,2485	GRECIA	0,1072

ANEXO VII.2: INDICE DE CONSUMO DE GAS 1993 (CONTINUACION)

No.	INDICE DE X1		INDICE DE X2		INDICE PARCIAL	
	PAISES	IND (X1)	PAISES	IND (X2)	PAISES	ICG
43	CONGO	0,0061	MARRUECOS	0,2267	ISRAEL	0,1005
44	GRECIA	0,0050	USA	0,2176	MARRUECOS	0,0923
45	MARRUECOS	0,0028	CONGO	0,1543	GABON	0,0705
46	ISRAEL	0,0019	BENIN	0,0000	CONGO	0,0654
47	BENIN	0,0000	CAMERUM	0,0000	BENIN	0,0000
48	CAMERUM	0,0000	ECUADOR	0,0000	CAMERUM	0,0000
49	ECUADOR	0,0000	NEPAL	0,0000	ECUADOR	0,0000
50	GHANA	0,0000	SRI LANKA	0,0000	GHANA	0,0000
51	GUATEMALA	0,0000	TANZANIA	0,0000	GUATEMALA	0,0000
52	C.MARFIL	0,0000	URUGUAY	0,0000	C.MARFIL	0,0000
53	JAMAICA	0,0000	ISLANDIA	0,0000	JAMAICA	0,0000
54	KENYA	0,0000	PORTUGAL	0,0000	KENYA	0,0000
55	NEPAL	0,0000	GABON	0,0000	NEPAL	0,0000
56	PARAGUAY	0,0000	GHANA	0,0000	PARAGUAY	0,0000
57	FILIPINAS	0,0000	GUATEMALA	0,0000	FILIPINAS	0,0000
58	SENEGAL	0,0000	C.MARFIL	0,0000	SENEGAL	0,0000
59	SRI LANKA	0,0000	JAMAICA	0,0000	SRI LANKA	0,0000
60	TANZANIA	0,0000	KENYA	0,0000	TANZANIA	0,0000
61	URUGUAY	0,0000	PARAGUAY	0,0000	URUGUAY	0,0000
62	ZAMBIA	0,0000	FILIPINAS	0,0000	ZAMBIA	0,0000
63	ZIMBABWE	0,0000	SENEGAL	0,0000	ZIMBABWE	0,0000
64	ISLANDIA	0,0000	ZAMBIA	0,0000	ISLANDIA	0,0000
65	PORTUGAL	0,0000	ZIMBABWE	0,0000	PORTUGAL	0,0000
NORTEAM.		0,4015	PACIF.(DES)	0,5626	PACIF.(DES)	0,4036
PACIF.(DES)		0,2976	ASIA	0,4074	NORTEAM.	0,3655
A.LATINA		0,2466	EUROPA	0,3958	ASIA	0,3069
ASIA		0,2408	NORTEAM.	0,3114	EUROPA	0,2962
EUROPA		0,2294	A.LATINA	0,2753	A.LATINA	0,2581
AFRICA		0,1068	AFRICA	0,1486	AFRICA	0,1236
TOTAL DES.		0,2533	TOTAL DES.	0,4096	TOTAL DES.	0,3162
TOTAL PSD.		0,1947	TOTAL PSD.	0,2708	TOTAL PSD.	0,2263
TOTAL		0,2155	TOTAL	0,3220	TOTAL	0,2581

Notas:

X1: Participación del gas dentro de los comb. fósiles, en 1993.

X2: Variación de la proporción gas/combustibles fósiles en 1973-93

Indice de Xi = (valor real de Xi-valor mín.de Xi)/(valor máx. de Xi-valor mín. de Xi);

i=1,2. Indice de Consumo de Gas (ICG) = 0.6(Indice de X1)+0.4(Indice de X2)

Fuente: Elaboración propia con información primaria de IEA (1989, 1994, 1996)

ANEXO VII.3: INDICE DE ENERGIA COMERCIAL NO FOSIL (IECNF) 1993						
No	INDICE DE X3		INDICE DE X4		INDICE PARCIAL-2	
	PAISES	IND (X3)	PAISES	IND (X4)	PAISES	IECNF
1	PARAGUAY	1,0000	PARAGUAY	1,0000	PARAGUAY	1,0000
2	ISLANDIA	0,8484	SUECIA	0,8250	ISLANDIA	0,8361
3	SUECIA	0,7413	ISLANDIA	0,8176	SUECIA	0,7748
4	ZAMBIA	0,6332	FRANCIA	0,8002	FRANCIA	0,6684
5	NORUEGA	0,6284	FINLANDIA	0,5922	ZAMBIA	0,5663
6	FRANCIA	0,5805	BELGICA	0,5874	NORUEGA	0,5366
7	SUIZA	0,5069	FILIPINAS	0,5559	SUIZA	0,5179
8	GHANA	0,4489	SUIZA	0,5345	FINLANDIA	0,4499
9	URUGUAY	0,4416	HUNGRIA	0,5031	URUGUAY	0,4498
10	N.ZELANDA	0,3746	JAPON	0,4877	FILIPINAS	0,4195
11	FINLANDIA	0,3550	ZAMBIA	0,4659	BELGICA	0,4110
12	CANADA	0,3304	URUGUAY	0,4622	CANADA	0,3801
13	FILIPINAS	0,3285	KENYA	0,4568	N.ZELANDA	0,3472
14	BELGICA	0,2934	CANADA	0,4546	ESPAÑA	0,3282
15	BRASIL	0,2551	ALEMANIA	0,4498	JAPON	0,3277
16	ESPAÑA	0,2491	ESPAÑA	0,4469	HUNGRIA	0,3233
17	CAMERUM	0,2304	COREA SUR	0,4460	KENYA	0,3208
18	KENYA	0,2301	TANZANIA	0,4267	GHANA	0,3060
19	SRI LANKA	0,2261	USA	0,4143	TANZANIA	0,3046
20	TANZANIA	0,2232	ARGENTINA	0,4140	SRI LANKA	0,2895
21	JAPON	0,2210	R.UNIDO	0,4094	ALEMANIA	0,2799
22	HUNGRIA	0,2034	NORUEGA	0,3989	COREA SUR	0,2735
23	AUSTRIA	0,1830	AUSTRIA	0,3917	AUSTRIA	0,2665
24	NEPAL	0,1673	GABON	0,3871	BRASIL	0,2539
25	ALEMANIA	0,1667	SRI LANKA	0,3845	R.UNIDO	0,2527
26	COREA SUR	0,1585	TURQUIA	0,3764	USA	0,2525
27	COLOMBIA	0,1504	VENEZUELA	0,3636	ARGENTINA	0,2463
28	R.UNIDO	0,1482	ISRAEL	0,3523	GABON	0,2271
29	USA	0,1446	ECUADOR	0,3470	NEPAL	0,2232
30	CHILE	0,1385	C.MARFIL	0,3427	VENEZUELA	0,2223
31	ARGENTINA	0,1345	GUATEMALA	0,3304	ECUADOR	0,2115
32	VENEZUELA	0,1282	HOLANDA	0,3280	TURQUIA	0,1981
33	ECUADOR	0,1211	DINAMARCA	0,3204	GUATEMALA	0,1977
34	GABON	0,1204	INDONESIA	0,3144	COLOMBIA	0,1920
35	GUATEMALA	0,1092	AUSTRALIA	0,3136	C.MARFIL	0,1854
36	MYANMAR	0,1023	IRLANDA	0,3120	CHILE	0,1814
37	MEXICO	0,0921	ITALIA	0,3105	MEXICO	0,1768
38	C.MARFIL	0,0804	NEPAL	0,3069	ISRAEL	0,1654
39	TURQUIA	0,0792	GRECIA	0,3064	ITALIA	0,1599
40	PAKISTAN	0,0753	N.ZELANDA	0,3061	CONGO	0,1551
41	BOLIVIA	0,0677	JAMAICA	0,3044	INDONESIA	0,1510
42	ZIMBABWE	0,0599	MEXICO	0,3040	HOLANDA	0,1437

ANEXO VII.3: INDICE DE ENERGIA COMERCIAL NO FOSIL (IECNF) 1993 (CONTINUACION)

No	INDICE DE X3		INDICE DE X4		INDICE PARCIAL	
	PAISES	IND (X3)	PAISES	IND (X4)	PAISES	IECNF
43	PORTUGAL	0,0597	CHINA	0,3036	PORTUGAL	0,1400
44	ITALIA	0,0596	CONGO	0,2986	CHINA	0,1399
45	CONGO	0,0594	MYANMAR	0,2876	AUSTRALIA	0,1387
46	INDIA	0,0506	ARGELIA	0,2714	CAMERUM	0,1383
47	INDONESIA	0,0421	MALASIA	0,2708	PAKISTAN	0,1335
48	ISRAEL	0,0407	BANGLAD.	0,2698	DINAMARCA	0,1321
49	NIGERIA	0,0356	THAILANDIA	0,2654	IRLANDA	0,1301
50	EGIPTO	0,0339	PORTUGAL	0,2606	GRECIA	0,1299
51	CHINA	0,0307	COLOMBIA	0,2543	INDIA	0,1256
52	AUSTRALIA	0,0221	BRASIL	0,2520	JAMAICA	0,1247
53	MALASIA	0,0209	CHILE	0,2458	MALASIA	0,1209
54	HOLANDA	0,0208	INDIA	0,2381	BANGLAD.	0,1157
55	BANGLAD.	0,0130	PAKISTAN	0,2207	THAILANDIA	0,1132
56	GRECIA	0,0122	MARRUECOS	0,2206	ARGELIA	0,1090
57	THAILANDIA	0,0118	NIGERIA	0,2041	BOLIVIA	0,1090
58	MARRUECOS	0,0115	BOLIVIA	0,1709	NIGERIA	0,1030
59	IRLANDA	0,0088	EGIPTO	0,1675	MARRUECOS	0,0951
60	DINAMARCA	0,0066	ZIMBABWE	0,1158	EGIPTO	0,0874
61	JAMAICA	0,0050	GHANA	0,0916	ZIMBABWE	0,0823
62	ARGELIA	0,0008	BENIN	0,0000	MYANMAR	0,0176
63	BENIN	0,0000	CAMERUM	0,0000	BENIN	0,0000
64	SENEGAL	0,0000	SENEGAL	0,0000	SENEGAL	0,0000
65	T.TOBAGO	0,0000	T.TOBAGO	0,0000	T.TOBAGO	0,0000
EUROPA		0,2818	EUROPA	0,4775	EUROPA	0,3601
NORTEAM.		0,2375	NORTEAM.	0,4345	NORTEAM.	0,3163
PACIF.(DES)		0,2059	PACIF.(DES)	0,3691	PACIF.(DES)	0,2712
A.LATINA		0,2033	A.LATINA	0,3422	A.LATINA	0,2589
AFRICA		0,1445	ASIA	0,3280	AFRICA	0,1787
ASIA		0,0962	AFRICA	0,2299	ASIA	0,1776
TOTAL DES.		0,2680	TOTAL DES.	0,4596	TOTAL DES.	0,3447
TOTAL PSD		0,1466	TOTAL PSD	0,2974	TOTAL PSD	0,2032
TOTAL		0,1896	TOTAL	0,3548	TOTAL	0,2532

Notas:

X3: Fuentes renovables y nuclear como parte de la demanda de energía comercial, 1993.

X4: Variación de la participación de fuentes renovables y nuclear en la energía comercial, 73-93

Indice de Xi = (valor real de Xi-valor mín.de Xi)/(valor máx. de Xi-valor mín. de Xi); i=3,4

Indice de Energía Comercial no Fósil (IECNF) = 0.6(Indice de X3) + 0.4(Indice de X4)

Fuente: Elaboración propia con información primaria de IEA (1989, 1994, 1996)

ANEXO VII.4: INDICE DE EFICIENCIA Y COBERTURA ENERGETICA SOSTENIBLE (IECES) 1993

No	INDICE DE X5		INDICE DE X6		INDICE DE X7		INDICE PARCIAL-3	
	PAISES	IND (X5)	PAISES	IND (X6)	PAISES	IND(X7)	PAISES	IECES
1	SUIZA	1,0000	CHINA	1,0000	CANADA	1,0000	ALEMANIA	0,9480
2	JAPON	0,9872	ALEMANIA	0,9652	USA	0,9901	JAPON	0,9460
3	DINAMARCA	0,9729	SRI LANKA	0,9644	AUSTRALIA	0,9548	DINAMARC.	0,9414
4	AUSTRIA	0,9706	BENIN	0,9409	HOLANDA	0,9539	AUSTRIA	0,9268
5	ITALIA	0,9591	GABON	0,9358	NORUEGA	0,9536	NORUEGA	0,9199
6	ALEMANIA	0,9462	CHILE	0,9211	T. TOBAGO	0,9532	IRLANDA	0,9168
7	FRANCIA	0,9448	JAPON	0,9193	FINLANDIA	0,9529	USA	0,9150
8	ISRAEL	0,9325	DINAMARCA	0,9169	SUECIA	0,9527	BELGICA	0,9130
9	ISLANDIA	0,9325	USA	0,9059	ISLANDIA	0,9524	ITALIA	0,9060
10	IRLANDA	0,9325	IRLANDA	0,9037	BELGICA	0,9516	ISLANDIA	0,9047
11	ESPAÑA	0,9317	AUSTRIA	0,8916	ALEMANIA	0,9350	FRANCIA	0,9015
12	NORUEGA	0,9311	BELGICA	0,8778	R.UNIDO	0,9342	R.UNIDO	0,9008
13	SUECIA	0,9224	R.UNIDO	0,8729	FRANCIA	0,9336	SUECIA	0,9006
14	BELGICA	0,9046	URUGUAY	0,8724	N.ZELANDA	0,9333	SUIZA	0,8910
15	PORTUGAL	0,9034	MYANMAR	0,8718	DINAMARCA	0,9310	HOLANDA	0,8815
16	FINLANDIA	0,9002	NORUEGA	0,8675	JAPON	0,9278	GABON	0,8776
17	GABON	0,8957	INDONESIA	0,8585	SUIZA	0,9270	FINLANDIA	0,8756
18	HOLANDA	0,8913	THAILANDIA	0,8547	AUSTRIA	0,9133	CANADA	0,8753
19	R.UNIDO	0,8913	HUNGRIA	0,8477	IRLANDA	0,9122	ESPAÑA	0,8538
20	MARRUECO	0,8830	PARAGUAY	0,8467	ITALIA	0,9118	ISRAEL	0,8528
21	URUGUAY	0,8827	KENYA	0,8427	COREA S.	0,9050	AUSTRALIA	0,8403
22	N.ZELANDA	0,8777	JAMAICA	0,8414	HUNGRIA	0,9048	CHILE	0,8379
23	USA	0,8478	CANADA	0,8414	VENEZUELA	0,9024	COREA S.	0,8325
24	AUSTRALIA	0,8442	TURQUIA	0,8375	GRECIA	0,9020	N.ZELANDA	0,8189
25	CAMERUM	0,8412	ITALIA	0,8373	ISRAEL	0,8876	ARGENTINA	0,8091
26	ARGENTINA	0,8377	BANGLAD.	0,8308	ESPAÑA	0,8846	PORTUGAL	0,7873
27	ARGELIA	0,8189	COLOMBIA	0,8299	PORTUGAL	0,8651	URUGUAY	0,7805
28	SENEGAL	0,8186	BRASIL	0,8247	ARGENTINA	0,8648	JAMAICA	0,7704
29	TURQUIA	0,8109	NEPAL	0,8201	MEXICO	0,8573	GRECIA	0,7612
30	CONGO	0,8069	ISLANDIA	0,8166	MALASIA	0,8552	BRASIL	0,7519
31	GRECIA	0,8058	SUECIA	0,8143	JAMAICA	0,8306	MALASIA	0,7510
32	SRI LANKA	0,8055	CAMERUM	0,8136	GABON	0,8097	THAILANDIA	0,7469
33	BOLIVIA	0,8019	FRANCIA	0,8134	CHILE	0,8043	TURQUIA	0,7427
34	GUATEM.	0,8016	COREA S.	0,8090	ARGELIA	0,7907	HUNGRIA	0,7145
35	CHILE	0,8003	HOLANDA	0,7855	THAILANDIA	0,6583	MEXICO	0,7135
36	BRASIL	0,7967	CONGO	0,7703	BRASIL	0,6446	COLOMBIA	0,6970
37	COREA S.	0,7802	ZIMBABWE	0,7684	URUGUAY	0,5995	VENEZUELA	0,6687
38	CANADA	0,7797	FILIPINAS	0,7655	TURQUIA	0,5931	PARAGUAY	0,6383
39	C.MARFIL	0,7764	FINLANDIA	0,7567	COLOMBIA	0,5271	CONGO	0,6069
40	MYANMAR	0,7639	PAKISTAN	0,7440	ECUADOR	0,4757	SRI LANKA	0,6017
41	PARAGUAY	0,7563	GUATEM.	0,7329	CHINA	0,4366	ECUADOR	0,5888
42	COLOMBIA	0,7530	ESPAÑA	0,7270	ZIMBABWE	0,4104	CAMERUM	0,5852

ANEXO VII.4: INDICE DE EFICIENCIA Y COBERTURA ENERGETICA SOSTENIBLE (IECES) 1993 (CONTIN)

No.	INDICE DE X5		INDICE DE X6		INDICE DE X7		INDICE PARCIAL	
	PAISES	IND (X5)	PAISES	IND (X6)	PAISES	IND(X7)	PAISES	IECES
43	ECUADOR	0,7484	SUIZA	0,7217	PARAGUAY	0,3416	GUATEM.	0,5852
44	THAILANDIA	0,7432	ISRAEL	0,7192	INDONESIA	0,3312	T.TOBAGO	0,5781
45	BANGLAD.	0,7080	ARGENTINA	0,7109	EGIPTO	0,3173	INDONESIA	0,5693
46	MALASIA	0,6961	AUSTRALIA	0,7022	ZAMBIA	0,2954	ARGELIA	0,5634
47	FILIPINAS	0,6625	TANZANIA	0,7019	CONGO	0,2667	MARRUECO	0,5580
48	JAMAICA	0,6493	INDIA	0,6996	FILIPINAS	0,2571	FILIPINAS	0,5515
49	EGIPTO	0,6435	MALASIA	0,6934	GUATEM.	0,2421	BENIN	0,5442
50	BENIN	0,6390	SENEGAL	0,6917	KENYA	0,2169	ZIMBABWE	0,5434
51	MEXICO	0,6379	ZAMBIA	0,6873	NIGERIA	0,2168	MYANMAR	0,5345
52	PAKISTAN	0,6377	MARRUECO	0,6701	C.MARFIL	0,2069	SENEGAL	0,5344
53	GHANA	0,6217	MEXICO	0,6339	BOLIVIA	0,1921	EGIPTO	0,5227
54	INDIA	0,5878	EGIPTO	0,6215	INDIA	0,1679	BOLIVIA	0,5019
55	VENEZUELA	0,5712	N.ZELANDA	0,6168	GHANA	0,1586	BANGLAD.	0,4970
56	INDONESIA	0,5595	GHANA	0,6077	TANZANIA	0,1499	PAKISTAN	0,4848
57	ZIMBABWE	0,4836	PORTUGAL	0,5612	MARRUECO	0,1370	INDIA	0,4744
58	NIGERIA	0,4364	GRECIA	0,5449	CAMERUM	0,1335	CHINA	0,4738
59	HUNGRIA	0,4101	ECUADOR	0,5345	SENEGAL	0,1155	KENYA	0,4719
60	KENYA	0,4090	BOLIVIA	0,5133	NEPAL	0,1113	GHANA	0,4554
61	T.TOBAGO	0,2661	VENEZUELA	0,5097	PAKISTAN	0,1096	C.MARFIL	0,4506
62	NEPAL	0,0963	T.TOBAGO	0,5046	BENIN	0,1093	NIGERIA	0,3764
63	TANZANIA	0,0833	NIGERIA	0,4927	SRI LANKA	0,0871	NEPAL	0,3187
64	CHINA	0,0601	C.MARFIL	0,3547	MYANMAR	0,0161	ZAMBIA	0,3096
65	ZAMBIA	0,0000	ARGELIA	0,0000	BANGLAD.	0,0000	TANZANIA	0,2922
PACIF.(DES)		0,9030	NORTEAM.	0,8737	NORTEAM.	0,9951	NORTEAM.	0,8952
EUROPA		0,8973	ASIA	0,8192	PACIF.(DES)	0,9386	EUROPA	0,8802
NORTEAM.		0,8138	EUROPA	0,8068	EUROPA	0,9262	PACIF.(DES)	0,8684
A.LATINA		0,7156	PACIF.(DES)	0,7461	A.LATINA	0,6335	A.LATINA	0,6863
ASIA		0,6317	A.LATINA	0,7135	ASIA	0,3869	ASIA	0,6023
AFRICA		0,6105	AFRICA	0,6600	AFRICA	0,2890	AFRICA	0,5128
TOTAL DES.		0,8907	TOTAL DES.	0,8047	TOTAL DES.	0,9338	TOTAL DES.	0,8800
TOTAL PSD		0,6501	TOTAL PSD	0,7296	TOTAL PSD	0,4282	TOTAL PSD	0,5963
TOTAL		0,7353	TOTAL	0,7562	TOTAL	0,6071	TOTAL	0,6967

Notas:

X5: Intensidad energética total al cierre del periodo (1993)

X6: Variación de la intensidad energética en 1973-93.

X7: Consumo de energía per cápita ajustado en 1993.

Indice de Xi = $1 - \frac{(\text{valor real de Xi} - \text{valor mín. de Xi})}{(\text{valor máx. de Xi} - \text{valor mín. de Xi})}$; i=5,6

Indice de Xi = $\frac{(\text{valor real de Xi} - \text{valor mín. de Xi})}{(\text{valor máx. de Xi} - \text{valor mín. de Xi})}$; i=7

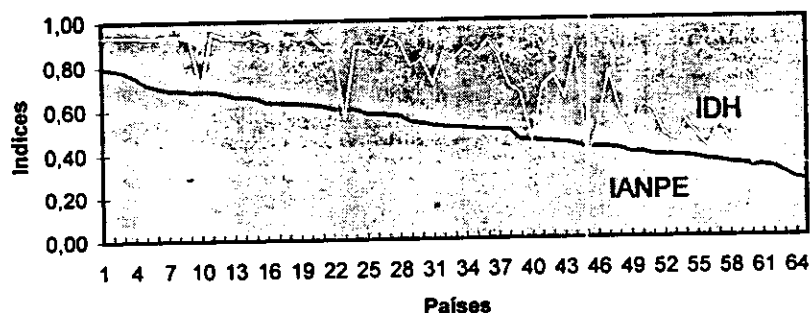
IECES = $0.35(\text{Indice de X5}) + 0.3(\text{Indice de X6}) + 0.35(\text{Indice de X7})$

Fuente: Elaboración propia con información primaria de IEA (1989, 1994, 1996) y WRI (1996)

Anexo VII.5: Correlación entre el IANPE (I), 1993 y el Índice de Desarrollo Humano, 1993.

Orden	Países	IANPE I/93	IDH/93	Orden	Países	IANPE I/93	IDH/93
1	ISLANDIA	0,7936	0,9340	34	PORTUGAL	0,5144	0,8780
2	SUECIA	0,7881	0,9330	35	MEXICO	0,5081	0,8450
3	FRANCIA	0,7756	0,9350	36	GRECIA	0,5064	0,9090
4	NORUEGA	0,7518	0,9370	37	COLOMBIA	0,5045	0,8400
5	SUIZA	0,7173	0,9260	38	JAMAICA	0,4997	0,7020
6	BELGICA	0,7040	0,9290	39	FILIPINAS	0,4567	0,6650
7	JAPON	0,6918	0,9380	40	MYANMAR	0,4548	0,4510
8	FINLANDIA	0,6899	0,9350	41	SRI LANKA	0,4479	0,6980
9	ALEMANIA	0,6841	0,9200	42	ARGELIA	0,4442	0,7460
10	PARAGUAY	0,6830	0,7040	43	INDONESIA	0,4402	0,6410
11	CANADA	0,6830	0,9510	44	T.TOBAGO	0,4308	0,8720
12	AUSTRIA	0,6748	0,9280	45	BANGLAD.	0,4172	0,3650
13	N.ZELANDIA	0,6612	0,9270	46	CONGO	0,4172	0,5170
14	R. UNIDO	0,6597	0,9240	47	ECUADOR	0,4167	0,7640
15	USA	0,6541	0,9400	48	GUATEMAL.	0,4104	0,5800
16	ITALIA	0,6333	0,9140	49	CAMERUM	0,3926	0,4810
17	DINAMARCA	0,6322	0,9240	50	EGIPTO	0,3915	0,6110
18	ESPAÑA	0,6302	0,9330	51	BOLIVIA	0,3802	0,5840
19	IRLANDA	0,6263	0,9190	52	KENYA	0,3794	0,4730
20	HOLANDA	0,6224	0,9380	53	PAKISTAN	0,3753	0,4442
21	ARGENTINA	0,6162	0,8850	54	MARRUECO	0,3726	0,5340
22	URUGUAY	0,6032	0,8830	55	GHANA	0,365	0,4670
23	GABON	0,6017	0,5570	56	ZAMBIA	0,3556	0,4110
24	COREA SUR	0,6004	0,8860	57	ZIMBABWE	0,3507	0,5340
25	CHILE	0,5816	0,8820	58	INDIA	0,3410	0,4360
26	HUNGRIA	0,5799	0,8550	59	CHINA	0,3378	0,6090
27	AUSTRALIA	0,5753	0,9290	60	BENIN	0,3265	0,3270
28	ISRAEL	0,5713	0,9080	61	C.MARFIL	0,3259	0,3570
29	BRASIL	0,5432	0,7960	62	SENEGAL	0,3207	0,3310
30	MALASIA	0,5373	0,8260	63	NIGERIA	0,2942	0,4000
31	TURQUIA	0,5269	0,7110	64	TANZANIA	0,2667	0,3640
32	VENEZUELA	0,5203	0,8590	65	NEPAL	0,2582	0,3320
33	TAILANDIA	0,5171	0,8320				

IANPE-I e IDH 1993



$R^2=0,7452$

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO VII.6: INDICE DE ENERGIA COMERCIAL RENOVABLE (*)						
No	INDICE DE X3-A		INDICE DE X4-A		INDICE PARCIAL-2A	
	PAISES	IND(X3-A)	PAISES	IND(X4-A)	PAISES	IECR
1	PARAGUAY	1,0000	PARAGUAY	1,0000	PARAGUAY	1,0000
2	ISLANDIA	0,8484	ISLANDIA	0,8176	ISLANDIA	0,8361
3	ZAMBIA	0,6332	FILIPINAS	0,5559	ZAMBIA	0,5663
4	NORUEGA	0,6284	ZAMBIA	0,4659	NORUEGA	0,5366
5	GHANA	0,4489	URUGUAY	0,4622	URUGUAY	0,4498
6	URUGUAY	0,4416	KENYA	0,4568	FILIPINAS	0,4195
7	N.ZELANDA	0,3746	TANZANIA	0,4267	N.ZELANDA	0,3472
8	FILIPINAS	0,3285	NORUEGA	0,3989	KENYA	0,3208
9	BRASIL	0,2550	AUSTRIA	0,3917	GHANA	0,3060
10	CAMERUM	0,2304	GABON	0,3871	TANZANIA	0,3046
11	KENYA	0,2301	SRI LANKA	0,3845	SRI LANKA	0,2895
12	SRI LANKA	0,2261	TURQUIA	0,3764	SUECIA	0,2666
13	TANZANIA	0,2232	VENEZUELA	0,3636	AUSTRIA	0,2665
14	SUECIA	0,2123	ARGENTINA	0,3617	BRASIL	0,2537
15	AUSTRIA	0,1830	ISRAEL	0,3523	CANADA	0,2412
16	CANADA	0,1745	SUECIA	0,3481	SUIZA	0,2311
17	SUIZA	0,1701	ECUADOR	0,3470	GABON	0,2271
18	NEPAL	0,1673	C.MARFIL	0,3427	NEPAL	0,2232
19	COLOMBIA	0,1504	CANADA	0,3413	VENEZUELA	0,2223
20	CHILE	0,1385	GUATEMALA	0,3304	ECUADOR	0,2115
21	VENEZUELA	0,1282	SUIZA	0,3226	TURQUIA	0,1981
22	ECUADOR	0,1211	USA	0,3220	GUATEMALA	0,1977
23	GABON	0,1204	FINLANDIA	0,3216	COLOMBIA	0,1920
24	GUATEMALA	0,1092	DINAMARCA	0,3204	ARGENTINA	0,1919
25	MYANMAR	0,1023	ITALIA	0,3184	C.MARFIL	0,1854
26	C.MARFIL	0,0804	JAPON	0,3184	CHILE	0,1814
27	TURQUIA	0,0792	HOLANDA	0,3148	MYANMAR	0,1764
28	ARGENTINA	0,0786	R.UNIDO	0,3146	FINLANDIA	0,1679
29	MEXICO	0,0782	INDONESIA	0,3144	ISRAEL	0,1654
30	PAKISTAN	0,0699	FRANCIA	0,3144	MEXICO	0,1634
31	BOLIVIA	0,0677	ALEMANIA	0,3143	ITALIA	0,1631
32	FINLANDIA	0,0654	BELGICA	0,3142	CONGO	0,1551
33	ZIMBABWE	0,0599	HUNGRIA	0,3137	INDONESIA	0,1510
34	PORTUGAL	0,0597	AUSTRALIA	0,3136	USA	0,1454
35	ITALIA	0,0596	IRLANDA	0,3120	JAPON	0,1450
36	CONGO	0,0594	NEPAL	0,3069	FRANCIA	0,1448
37	INDIA	0,0421	GRECIA	0,3064	PORTUGAL	0,1400
38	INDONESIA	0,0421	N.ZELANDA	0,3061	AUSTRALIA	0,1387
39	ISRAEL	0,0407	JAMAICA	0,3044	CAMERUM	0,1383
40	NIGERIA	0,0356	COREA S.	0,3012	CHINA	0,1339
41	EGIPTO	0,0339	CONGO	0,2986	PAKISTAN	0,1325
42	FRANCIA	0,0316	CHINA	0,2978	ESPAÑA	0,1324

ANEXO VII.6: INDICE DE ENERGIA COMERCIAL RENOVABLE (*) (CONTINUACION)

No	INDICE DE X3-A		INDICE DE X4-A		INDICE PARCIAL-2A	
	PAISES	IND(X3-A)	PAISES	IND(X4-A)	PAISES	IECR
43	ESPAÑA	0,0313	MEXICO	0,2911	DINAMARCA	0,1321
44	JAPON	0,0293	MYANMAR	0,2876	IRLANDA	0,1301
45	USA	0,0276	ESPAÑA	0,2841	GRECIA	0,1299
46	CHINA	0,0246	ARGELIA	0,2714	ALEMANIA	0,1294
47	AUSTRALIA	0,0221	MALASIA	0,2708	R.UNIDO	0,1273
48	MALASIA	0,0209	BANGLAD.	0,2698	HOLANDA	0,1263
49	BANGLAD.	0,0130	THAILANDIA	0,2654	BELGICA	0,1260
50	GRECIA	0,0122	PORTUGAL	0,2606	HUNGRIA	0,1259
51	THAILANDIA	0,0118	COLOMBIA	0,2543	JAMAICA	0,1247
52	MARRUECOS	0,0115	BRASIL	0,2519	COREA S.	0,1226
53	IRLANDA	0,0088	CHILE	0,2458	INDIA	0,1211
54	DINAMARCA	0,0066	INDIA	0,2396	MALASIA	0,1209
55	ALEMANIA	0,0061	PAKISTAN	0,2264	BANGLAD.	0,1157
56	JAMAICA	0,0050	MARRUECOS	0,2206	THAILANDIA	0,1132
57	COREA S.	0,0036	NIGERIA	0,2041	ARGELIA	0,1090
58	R.UNIDO	0,0024	BOLIVIA	0,1709	BOLIVIA	0,1090
59	ARGELIA	0,0008	EGIPTO	0,1675	NIGERIA	0,1030
60	HUNGRIA	0,0008	ZIMBABWE	0,1158	MARRUECOS	0,0951
61	HOLANDA	0,0006	GHANA	0,0916	EGIPTO	0,0874
62	BELGICA	0,0005	BENIN	0,0000	ZIMBABWE	0,0823
63	BENIN	0,0000	CAMERUM	0,0000	BENIN	0,0000
64	SENEGAL	0,0000	SENEGAL	0,0000	SENEGAL	0,0000
65	T.TOBAGO	0,0000	T.TOBAGO	0,0000	T.TOBAGO	0,0000
	A.LATINA	0,1980	EUROPA	0,3494	A.LATINA	0,2536
	AFRICA	0,1445	A.LATINA	0,3372	EUROPA	0,2173
	PACIF.(DES)	0,1420	NORTEAM.	0,3317	PACIF.(DES)	0,2103
	EUROPA	0,1293	ASIA	0,3178	NORTEAM.	0,1933
	NORTEAM.	0,1011	PACIF.(DES)	0,3127	AFRICA	0,1787
	ASIA	0,0837	AFRICA	0,2299	ASIA	0,1774
	TOTAL DES.	0,1285	TOTAL DES.	0,3430	TOTAL DES.	0,2143
	TOTAL PSD	0,1408	TOTAL PSD	0,2924	TOTAL PSD	0,2014
	TOTAL	0,1364	TOTAL	0,3103	TOTAL	0,2060

Notas: (*) El Indice de Energía Comercial Renovable (IECR), a diferencia del Indice de Energía Comercial No Fósil (IECNF) del AnexoVII.3, no incluye a la energía nuclear.

$$\text{IECR} = 0.6(\text{Indice de X3A}) + 0.4(\text{Indice de X3A})$$

Fuente: Elaboración propia con información primaria de IEA (1989, 1994, 1996) y WRI (1996)

ANEXO VII.7: INDICE DE AJUSTE AL NUEVO PARADIGMA ENERGETICO-II (IANPE II) (*)								
	INDICE AGREGADO		INDICE PARCIAL-1		INDICE PARCIAL-2A		INDICE PARCIAL-3	
No	PAISES	IANPE (II)	PAISES	ICG	PAISES	IECR	PAISES	IECES
1	ISLANDIA	0,7936	BANGLAD	0,8425	PARAGUAY	1,0000	ALEMANIA	0,9480
2	NORUEGA	0,7518	T.TOBAGO	0,8391	ISLANDIA	0,8361	JAPON	0,9460
3	PARAGUAY	0,6830	MYANMAR	0,8118	ZAMBIA	0,5663	DINAMARC.	0,9414
4	AUSTRIA	0,6748	ARGELIA	0,7354	NORUEGA	0,5366	AUSTRIA	0,9268
5	N.ZELANDA	0,6612	N.ZELANDA	0,6571	URUGUAY	0,4498	NORUEGA	0,9199
6	CANADA	0,6413	ARGENTINA	0,5684	FILIPINAS	0,4195	IRLANDA	0,9168
7	ALEMANIA	0,6389	HUNGRIA	0,5417	N.ZELANDA	0,3472	USA	0,9150
8	JAPON	0,6370	INDONESIA	0,5332	KENYA	0,3208	BELGICA	0,9130
9	SUECIA	0,6356	VENEZUELA	0,5240	GHANA	0,3060	ITALIA	0,9060
10	ITALIA	0,6343	EGIPTO	0,5164	TANZANIA	0,3046	ISLANDIA	0,9047
11	DINAMARC.	0,6322	MALASIA	0,5046	SRI LANKA	0,2895	FRANCIA	0,9015
12	SUIZA	0,6312	HOLANDA	0,5046	SUECIA	0,2666	R.UNIDO	0,9008
13	IRLANDA	0,6263	BOLIVIA	0,4633	AUSTRIA	0,2665	SUECIA	0,9006
14	R.UNIDO	0,6221	PAKISTAN	0,4440	BRASIL	0,2537	SUIZA	0,8910
15	USA	0,6220	CANADA	0,4377	CANADA	0,2412	HOLANDA	0,8815
16	FRANCIA	0,6186	R.UNIDO	0,4344	SUIZA	0,2311	GABON	0,8776
17	BELGICA	0,6185	ITALIA	0,4174	GABON	0,2271	FINLANDIA	0,8756
18	HOLANDA	0,6172	NORUEGA	0,3890	NEPAL	0,2232	CANADA	0,8753
19	FINLANDIA	0,6053	AUSTRIA	0,3875	VENEZUELA	0,2223	ESPAÑA	0,8538
20	URUGUAY	0,6032	NIGERIA	0,3741	ECUADOR	0,2115	ISRAEL	0,8528
21	GABON	0,6018	IRLANDA	0,3727	TURQUIA	0,1981	AUSTRALIA	0,8403
22	ARGENTINA	0,5999	THAILANDIA	0,3500	GUATEM.	0,1977	CHILE	0,8379
23	CHILE	0,5816	FRANCIA	0,3426	COLOMBIA	0,1920	COREA S.	0,8325
24	AUSTRALIA	0,5753	BELGICA	0,3285	ARGENTINA	0,1919	N.ZELANDA	0,8189
25	ESPAÑA	0,5714	ALEMANIA	0,3129	C.MARFIL	0,1854	ARGENTINA	0,8091
26	ISRAEL	0,5713	FINLANDIA	0,2955	CHILE	0,1814	PORTUGAL	0,7873
27	COREA S.	0,5552	AUSTRALIA	0,2948	MYANMAR	0,1764	URUGUAY	0,7805
28	BRASIL	0,5432	USA	0,2932	FINLANDIA	0,1679	JAMAICA	0,7704
29	MALASIA	0,5373	COLOMBIA	0,2871	ISRAEL	0,1654	GRECIA	0,7612
30	TURQUIA	0,5269	DINAMARC.	0,2772	MEXICO	0,1634	BRASIL	0,7519
31	HUNGRIA	0,5207	SUIZA	0,2730	ITALIA	0,1631	MALASIA	0,7510
32	VENEZUELA	0,5203	MEXICO	0,2691	CONGO	0,1551	THAILANDIA	0,7469
33	THAILANDIA	0,5171	JAPON	0,2590	INDONESIA	0,1510	TURQUIA	0,7427
34	PORTUGAL	0,5144	CHILE	0,2444	USA	0,1454	HUNGRIA	0,7145
35	GRECIA	0,5064	TURQUIA	0,2189	JAPON	0,1450	MEXICO	0,7135
36	COLOMBIA	0,5045	ESPAÑA	0,1942	FRANCIA	0,1448	COLOMBIA	0,6970
37	MEXICO	0,5040	COREA S.	0,1887	PORTUGAL	0,1400	VENEZUELA	0,6687
38	JAMAICA	0,4996	INDIA	0,1867	AUSTRALIA	0,1387	PARAGUAY	0,6383
39	FILIPINAS	0,4568	BRASIL	0,1594	CAMERUM	0,1383	CONGO	0,6069
40	MYANMAR	0,4548	SUECIA	0,1530	CHINA	0,1339	SRI LANKA	0,6017
41	SRI LANKA	0,4479	CHINA	0,1153	PAKISTAN	0,1325	ECUADOR	0,5888
42	ARGELIA	0,4442	GRECIA	0,1072	ESPAÑA	0,1324	CAMERUM	0,5852

ANEXO VII.7: INDICE DE AJUSTE AL NUEVO PARADIGMA ENERGETICO-II (IANPE II) (*), Continuación.

No	INDICE AGREGADO		INDICE PARCIAL-1		INDICE PARCIAL-2A		INDICE PARCIAL-3	
	PAISES	IANPE II	PAISES	ICG	PAISES	IECR	PAISES	IECES
43	INDONESIA	0,4402	ISRAEL	0,1005	DINAMARC.	0,1321	GUATEM.	0,5852
44	T.TOBAGO	0,4308	MARRUECO	0,0923	IRLANDA	0,1301	T.TOBAGO	0,5781
45	BANGLAD	0,4172	GABON	0,0705	GRECIA	0,1299	INDONESIA	0,5693
46	CONGO	0,4172	CONGO	0,0654	ALEMANIA	0,1294	ARGELIA	0,5634
47	ECUADOR	0,4167	BENIN	0,0000	R.UNIDO	0,1273	MARRUECO	0,5580
48	GUATEM.	0,4104	CAMERUM	0,0000	HOLANDA	0,1263	FILIPINAS	0,5515
49	CAMERUM	0,3926	ECUADOR	0,0000	BELGICA	0,1260	BENIN	0,5442
50	EGIPTO	0,3915	GHANA	0,0000	HUNGRIA	0,1259	ZIMBABWE	0,5434
51	BOLIVIA	0,3802	GUATEM.	0,0000	JAMAICA	0,1247	MYANMAR	0,5345
52	KENYA	0,3794	C.MARFIL	0,0000	COREA S.	0,1226	SENEGAL	0,5344
53	PAKISTAN	0,3750	JAMAICA	0,0000	INDIA	0,1211	EGIPTO	0,5227
54	MARRUECO	0,3726	KENYA	0,0000	MALASIA	0,1209	BOLIVIA	0,5019
55	GHANA	0,3650	NEPAL	0,0000	BANGLAD	0,1157	BANGLAD	0,4970
56	ZAMBIA	0,3556	PARAGUAY	0,0000	THAILANDIA	0,1132	PAKISTAN	0,4848
57	ZIMBABWE	0,3507	FILIPINAS	0,0000	ARGELIA	0,1090	INDIA	0,4744
58	INDIA	0,3396	SENEGAL	0,0000	BOLIVIA	0,1090	CHINA	0,4738
59	CHINA	0,3360	SRI LANKA	0,0000	NIGERIA	0,1030	KENYA	0,4719
60	BENIN	0,3265	TANZANIA	0,0000	MARRUECO	0,0951	GHANA	0,4554
61	C.MARFIL	0,3260	URUGUAY	0,0000	EGIPTO	0,0874	C.MARFIL	0,4506
62	SENEGAL	0,3207	ZAMBIA	0,0000	ZIMBABWE	0,0823	NIGERIA	0,3764
63	NIGERIA	0,2942	ZIMBABWE	0,0000	BENIN	0,0000	NEPAL	0,3187
64	TANZANIA	0,2667	ISLANDIA	0,0000	SENEGAL	0,0000	ZAMBIA	0,3096
65	NEPAL	0,2582	PORTUGAL	0,0000	T.TOBAGO	0,0000	TANZANIA	0,2922
EUROPA		0,6230	PACIF.(DES)	0,4036	A.LATINA	0,2536	NORTEAM.	0,8952
NORTEAM.		0,6317	NORTEAM.	0,3655	EUROPA	0,2173	EUROPA	0,8802
PACIF.(DES)		0,6245	ASIA	0,3069	PACIF.(DES)	0,2103	PACIF.(DES)	0,8684
A.LATINA		0,5136	EUROPA	0,2962	NORTEAM.	0,1933	A.LATINA	0,6863
ASIA		0,4453	A.LATINA	0,2581	AFRICA	0,1787	ASIA	0,6023
AFRICA		0,3736	AFRICA	0,1236	ASIA	0,1774	AFRICA	0,5128
TOTAL DES.		0,6239	TOTAL DES.	0,3162	TOTAL DES.	0,2143	TOTAL DES.	0,8800
TOTAL PSD		0,4408	TOTAL PSD	0,2263	TOTAL PSD	0,2014	TOTAL PSD	0,5963
TOTAL		0,5056	TOTAL	0,2581	TOTAL	0,2060	TOTAL	0,6967

Notas: (*) El IANPE II se diferencia del IANPE I (Anexo VII.1) en la elaboración del índice parcial 2A. En el IANPE I, el índice parcial 2 (IECNF) se refiere a las fuentes renovables y a la energía nuclear; mientras que en el IANPE II, el índice parcial 2A (IECR) se refiere sólo a fuentes renovables.

Fuente: Elaboración propia con información primaria de IEA (1989, 1994, 1996b) y WRI (1996).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aburto, J. y R. Hudlet (1989), "Algunas consideraciones sobre la estructura del balance energético..."; en Bauer, M. y L. García-Colín (Coordinadores), **Energía en México. El arranque del siglo XXI**, México, DF: El Colegio de México.
- Accu-Weather (1995), **Changing Weather?. Facts and Fallacies About Climate Change and Weather Extremes**, Pennsylvania, USA.
- Acosta, A. (1995), "Normas de eficiencia energética en equipos de uso industrial"; en SE, et. al., **Seminario de Ahorro de Energía**, op. cit.
- Adame, H. y M. Alcalá (1988), **La OPEP y la dinámica del mercado petrolero mundial**, México DF: UNAM.
- Aguilar, A., et. al. (1986), **Naturaleza de la actual crisis**, México DF: UNAM/Editorial Nuestro Tiempo.
- Albinsson, H. (1989), "Necesidades Energéticas del Proceso de Industrialización"; en **Comercio Exterior**, vol. 39, No. 3, México DF.: El Banco Nacional de Comercio Exterior.
- Anderson, R.J. (1995), **Joint Implementation of Climate Change Measures. Climate Change Series**, Washington: World Bank.
- Arenas, F. (1994), "Programa de eficiencia energética en México"; en SEMIP-IEA-Conae, **Eficiencia energética en América Latina**, op. cit.
- Audland, C. (1990), "European Community Energy Policy in the 1990s"; en **International Journal of Global Energy Issues**, vol. 2, No. 3, Oxford.
- Ayres, R. (1983), **The Industrial Revolution. Reviving Industry through Innovation**, Cambridge: Ballinger Publishing Co.
- Banco Mundial (1992), **Informe sobre el desarrollo mundial 1992. Desarrollo y Medio Ambiente** (resumen), Washington.
- Bauer, M. y J. Quintanilla (1995a), "Emissions of the Energy Chains in the Mexican Energy System"; en INE, et. al., **México ante el cambio climático** (Memorias I), Primer Taller de Estudio de País: México, op. cit.
- Bauer, M. y J. Quintanilla (1995b), **Projection of the Global, Regional and Sectorial Energy Demand and Emissions for Mexico**, México DF: Programa Universitario de Energía, UNAM.
- Bauer M., J. Quintanilla, y V. Domínguez (1992), **El desafío ambiental al sistema energético mexicano**, México DF: Programa Universitario de Energía, UNAM.
- Elhagavan, M.R. (1990), **The Technological Transformation of the Third World: Strategies and Prospects**, Londres: Zed Books LTD.
- Elackburn, J.O. (1987), **The Renewable Energy Alternative**, Duke University Press, Durban.

- Blanco, J. (1995), "PV, Wind, and Other Dispersed Energy Sources"; en Goldemberg, J. y T. Johansson (eds.), op. cit.
- Boltho, A. y G. Holtham (1995), "Nuevos enfoques sobre crecimiento económico: Una panorámica general"; en García, B. (compilador), op. cit.
- BP Statistical Review of World Energy**, varios números.
- Bradley, R. (1997), "Renewable Energy. Why Renewable Energy is Not Cheap and Not Green", <http://www.ngsa.org/BRADLEY>, fecha de captura: 22-07-97.
- Buitelaar, R. (1990), "El debate sobre el futuro de la industrialización en América Latina"; en **Pensamiento Iberoamericano**, No. 16, España.
- Cadenas, R. y S. López (1995), "El viento en el sistema eléctrico nacional"; en **Ingeniería Civil**, No. 313.
- Cazadero, M. (1988), **Energía y Tercera Revolución Industrial**. Contradicciones del desarrollo derivadas de la revolución científico-técnica (Tesis de Doctorado, México DF: DEP, Fac. de Economía, UNAM).
- Cazadero, M. (1995), **Las revoluciones industriales**, México DF: Fondo de Cultura Económica.
- CEPAL (1975), **América Latina y los problemas actuales de energía**, México DF: Fondo de Cultura Económica.
- CEPAL (1991), **El Desarrollo Sustentable. Transformación Productiva con Equidad y Medio Ambiente**, Santiago de Chile.
- CFE (Comisión Federal de Electricidad) (1994a), **Los Azufres**. Descripción técnica.
- CFE (1994b), **Planta eoloelectrica de La Venta, Oaxaca**.
- CFE (1995), **Prospectiva del sector eléctrico**, <http://www.access.ligex.net/%7Eermine>, fecha de captura: 24-07-97.
- Chandler, W. (1990), "Industrial Energy Efficiency. A Policy Perspective"; en **Industry and Environment**, París.
- Chung, K. (1990), "Republic of Korea. Nuclear Power and Public Acceptance"; en **IAEA Bulletin**, vol. 32, No. 2, Viena: IAEA.
- Cipolla, C. (1976), **Historia económica de la Europa preindustrial**, Madrid: Biblioteca de la Revista Occidente.
- Cipolla, C. (1990), **Historia económica de la población mundial**, México DF: Editorial Grijalbo.
- Clapp, J. (1994), "The Toxic Waste Trade with Less Industrialised Countries. Economic Linkages and Political Alliances"; en **Third World Quarterly**, vol. 15, No. 3.
- Clarke, C. (1991), "Cleaner, more Productive and more Secure?"; en **Energy Economist**, No. 113, Londres.

- CMNUCC (Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) (1992), Río de Janeiro.
- Colby, M. y F. Sagasti (1992), "Ecodevelopment and Perspectives on Global Change from Developing Countries"; en **Global Change: Environmental Challenges and International Responses**, editado por N. Choueri, Cambridge: MIT Press.
- Conae (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía) (1996), **Informe de Labores 1995**, México DF.
- Constanza, R. (ed.) (1991), **Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability**, Columbia University Press.
- Corbus, D., et. al. (1994), **Renewable Energy and Its Potential for Carbon Emissions Reductions in Developing Countries: Methodology for Technology Evaluation. Case Study Application to Mexico**. Prepared under Task No. WF945440, National Renewable Energy Laboratory, Colorado, USA.
- Corona, L. (Coordinador) (1991), **México ante las nuevas tecnologías**, Grupo Editorial Miguel Angel Porrua, México DF: Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Humanidades, UNAM.
- Corona, L. (1996), **Tecnología, innovación y ciclos económicos** (mimeo), México DF: Seminario de Economía de la Ciencia y la Tecnología, DEP-FE, UNAM.
- Corona, L. y A. Tapia (1996), **Polos de Innovación Tecnológica. Elementos para una definición y caracterización**, Seminario de Economía de la Ciencia y la Tecnología, DEP-FE, UNAM, México DF.
- CRE (Comisión Reguladora de Energía) (1997), **Ley de la Comisión Reguladora de Energía**, <http://www.cre.gob.mx/publica/series/leycre.html>, fecha de captura: 24-07-97.
- Cuellar, C. (1989), "Sustitución de hidrocarburos. ¿Transición forzada o planeada?"; en Bauer, M. y L. García-Colín (Coordinadores), **Energía en México. El arranque del siglo XXI**, México DF: El Colegio de México.
- Daxiong, Q., et. al. (1990), "Diffusion and Innovation in the Chinese Biogas Program"; en **World Development**, vol. 18, No. 4, Oxford: Pergamon Press.
- De Carvalho, I. (1995), "Converting Biomass to Liquid Fuels: Making Ethanol from Sugar Cane in Brazil"; en Goldemberg, J. y T. Johansson (eds.), op. cit.
- De la Ferte, J. (1990), "What Future for Nuclear Power"; en **OECD Observer**, No. 163, París: OECD.
- De la Vega, A. (1995a), "La reorganización de las industrias petroleras en América Latina"; en **Investigación Económica**, No. 213, vol. LV, México DF.
- De la Vega, A. (1995b), "La vulnerabilidad de PEMEX y sus perspectivas ante la nueva industria petrolera internacional"; en **Economía Informa**, No. 236.

- De Melo, M. (1994), "Programa de eficiencia energética en Brasil"; en SEMIP-IEA-Conae, **Eficiencia energética en América Latina**, op. cit.
- De Sampaio Nunes, P. (1994), "The EU THERMIE Energy Support Programme"; en **Industry and Environment**, vol. 17, No. 1, París.
- Deudney, D. y C. Flavin (1983), **Renewable Energy. The Power to Choose**, New York: W.W. Norton & Company.
- DOE (Department of Energy, USA) (1997a), "DOE Releases Budget Request for Fiscal Year 1997", <http://www.essential.org/CMEP/budget/032096doe.html>, fecha de captura: 24-07-97.
- DOE (1997b), "Energy: Our Future is Today. Renewable Energy Biomass and Biofuels", <ftp://204.243.73.5/library/AEM/TPBIO.TXT>, fecha de captura: 22-07-97.
- DOE (1997c), "Hydroelectric and Other Renewable Energy", <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo96/hydro...>, fecha de captura: 23-07-97.
- Dos Santos, T. (1997), "La cuestión de las ondas largas". Traducido por C. Sánchez. Ponencia presentada en Seminario Internacional "La Economía mundial contemporánea. Balance y perspectivas", BUAP, Puebla.
- Dos Santos, T. (1985), "La revolución científica y tecnológica y la crisis internacional del capitalismo"; en **Ciencia, Tecnología y Desarrollo**, vol. 9, Colombia.
- Dosi, G. (1984), **Technical Change and Industrial Transformation**, MACMILLAN: HOUNDSMILLS.
- Drucker, P. (1986), "The Changed World Economy"; en **Foreign Affairs**, New York.
- Energía, Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable** (1993). Memorias de evento auspiciado por la Fundación Friedrich Ebert, México.
- Energy, Economics and Climate Change** (1994), vol. 4, No. 5.
- Energy for Sustainable Development**, varios números.
- Epstein, J.M. y R. Gupta (1990), **Controlling the Greenhouse Effect**, Brookings Occasional Papers, Washington: The Brookings Institution.
- Fajnzylber, F. (1990), "Sobre la impostergable transformación productiva en América Latina"; en **Pensamiento Iberoamericano**, No. 16, España.
- Finon, D. y F. Perrin (1990), "US Energy Policy in the Face of Growing Oil Dependence"; en **Energy Studies Review**, vol. 2, No. 2-3, Canadá.
- Flavin, C. (1989), "Slowing Global Warming. A Worldwide Strategy"; en **Worldwatch Paper 91**, Washington DC: Worldwatch Institute.
- Flavin, C. y N. Lenssen (1990), "Beyond the Petroleum Age. Designing a Solar Economy"; en **Worldwatch Paper 100**, Washington: Worldwatch Institute.
- Flores, H. (1995), "Manejo de plantas antiguas en un ambiente de competencia"; en SE, et.

al., **Seminario de Ahorro de Energía**, op. cit.

-FMI, **World Economic Outlook**, Washington, varios números.

-Freeman, C. (1981), **La teoría económica de la innovación industrial**, Alianza, España.

-Freeman, C. y C. Pérez (1988), "Structural Crisis of Adjustment: Business Cycles and Investment Behaviour"; en Dosi, G., et. al. (eds.), **Technical Change and Economic Theory**, Londres: Pinter Publishers.

-Friedrichs, M. y E. Unterwurzacher (1989), "Improving Electricity End Use"; en **OECD Observer**, No. 160, París: OECD.

-Gari, L. (1990), **Global Warming and Options for China. Energy and Environmental Policy Profile**, WP-90-52, Laxenburg: IIASA.

-García, B. (1995), **Ensayos sobre la teoría del crecimiento endógeno**, México DF: Facultad de Economía, UNAM.

-Glender A. y V. Lichtinger (Compiladores) (1994), **La diplomacia ambiental. México y la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo**, México DF: Secretaría de Relaciones Exteriores y Fondo de Cultura Económica.

-Gligo, N. (1995), "Situación y perspectivas ambientales en América Latina y el Caribe"; en **Revista de la CEPAL**, No. 55.

-Goldemberg, J. (1995), **Sustainable Energy Future in a Changing Climate**, Berlín.

-Goldemberg, J. y T. Johansson (eds.) (1995), **Energy as an Instrument for Socio-Economic Development**, New York: UNDP.

-Goldemberg, J., T. Johansson, A. Reddy y R. Williams (1994), "Energy Efficiency from the Perspective of Developing Countries"; en **Energy for Sustainable Development**, vol. 1, No. 2.

-GREENPEACE International (1994), **Climate Time Bomb. Signs of Climate Change from de GREENPEACE Database**, Amsterdam.

-Gronbeck, C. (1997), "Economics of Renewable Energy: Estimated US Potential of Renewable Energy Technologies", <http://solstice.crest.org...>, fecha de captura: 22-07-97.

-Guirnaraes, R. (1992), **Deuda externa y desarrollo sustentable en América Latina. Una perspectiva socioeconómica**, Santiago de Chile: Instituto de Ecología Política.

-Gutiérrez, F. (1994), "Eficiencia energética: una estrategia para el desarrollo sustentable"; en SEMIP-IEA-Conae, **Eficiencia energética en América Latina**, op. cit.

-Gutiérrez, R. (1986), "La formación de los precios del petróleo a partir de 1973"; en **Comercio Exterior**, vol. 36, No. 8, México DF.

-Häfelle, W. (1989), "Energy Systems in Transition under the Conditions of Supply and the Environment"; en **IAEA Bulletin**, vol. 31, No. 2, Viena.

-Hart, C. (1989), "Power to People"; en **World Development**, vol. 2, No. 5, New York.

- Heard, J. (1990), "Spreading the Word on Energy Saving"; en **OECD Observer**, No. 161, París: OECD.
- Heilbroner, R. (1995), "Economía de la antidepresión"; en García, B. (compilador), op. cit.
- Hiriart, G. (1992a), "Agua para energía"; en **Ingeniería Civil**, No. 283.
- Hiriart, G. (1992b), "Geotermia"; en **Ingeniería Civil**, No. 284.
- Hiriart, G. (1995a), "Las energías renovables en la generación de electricidad" (mimeo).
- Hiriart, G. (1995b), "Nuevas fuentes para generar electricidad"; en **Ingeniería Civil**, No. 313.
- Hiriart, G. y L. Gutiérrez (1995), "Calor del subsuelo para generar electricidad"; en **Ingeniería Civil**, No. 313.
- IAEA (1989), **IAEA Bulletin**, No. 3, Viena.
- IEA (International Energy Agency) (1991a), **Climate Change Policy: Update**, París.
- IEA (1981), **Energy Balances of OECD Countries 1960-79**, París: OECD.
- IEA (1991b), **Energy Balances of OECD Countries 1980-89**, París: OECD.
- IEA (1995), **Energy Balances of OECD Countries 1992-93**, París: OECD.
- IEA (1997a), **Energy Balances of OECD Countries 1994-95**, París: OECD.
- IEA (1987), **Energy Conservation in the IEA Countries**, París: OECD.
- IEA (1980), **Energy Policies and Programs of the IEA Countries. 1979 Review**, París: OECD.
- IEA (1985), **Energy Research Development and Demonstration in the IEA Countries. 1984 Review of National Programs**, París: OECD.
- IEA (1994), **Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1991-92**, París: OECD.
- IEA (1996a), **Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1993-94**, París: OECD.
- IEA (1997b), **Energy Statistics and Balances of Non-OECD Countries 1994-95**, París: OECD.
- IEA (1989), **IEA Statistics. World Energy Statistics and Balances 1971-1987**, París: OECD.
- IEA (1996b), **World Energy Outlook**, 1996 Edition, París: OECD.
- INE (Instituto Nacional de Ecología), et. al. (1995), **México ante el cambio climático (Memorias I)**. Primer Taller de Estudio de País: México, celebrado en Cuernavaca, Morelos, en abril de 1994.
- INE, et. al. (1996), **México ante el cambio climático (Memorias II)**. Segundo Taller de Estudio de País: México, celebrado en Cuernavaca, Morelos, en mayo de 1995.
- INEGI (1994), **Cuaderno de Información Oportuna**, No. 251, México DF.

- INEGI (1996), **Cuaderno de Información Oportuna**, No. 278, México DF.
- INEGI (1993), **Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto Trimestral 1980-93**, México DF.
- Instituto de Ecología Política (1991), **Deuda externa y medio ambiente en América Latina**, Santiago de Chile.
- IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) (1992), **Cambio Climático. Las evaluaciones del IPCC de 1990 y 1992**, Canadá.
- IPCC (1996), **Technologies, Policies and Measures for Mitigating Climate Change**. IPCC Technical Paper I. Preparado por el Grupo de Trabajo II del IPCC.
- Jacobsson, S. y J. Sigurdson (eds.) (1983), **Technological Trends and Challenges in Electronics**, Lund: Research Policy Institute (RPI).
- James, D. (1988), "Acumulación y uso de la capacidad tecnológica interna del Tercer Mundo"; en **Comercio Exterior**, vol. 38, No. 12, México DF: Banco Nacional de Comercio Exterior.
- Jamison, A. (1990), "The Internationalization of the Environmentalism. Implications for Science and Technology Policy"; en Jamison, A. y E. Baark, **Technological Innovation and Environmental Concern. Contending Policy Models in China and Viet Nam**, Research Policy Studies, RPI Discussion Paper No. 187, Lund.
- Jepma, C.J. (ed.) (1995), **The Feasibility of Joint Implementation**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Bajos.
- Johansson, T. B. (1995), **Energy Supply Mitigation Options**, Berlín.
- Katz, J. (1976), **Importación de tecnología, aprendizaje e industrialización dependiente**, México: Fondo de Cultura Económica.
- Keyun, D. (1995), "Renewable Energy Benefits Rural Women in China"; en Goldemberg, J. y T. Johansson (eds.), op. cit.
- Krutilla, K. y A. Moncayo (1996), "Los beneficios y los costos para México de un impuesto sobre el carbono: un análisis usando el MCEG"; en INE, et. al., **México ante el cambio climático (Memorias II)**, op. cit.
- Kurz, H. y N. Salvadori (1995), **The "New" Growth Theory. Old Wine in New Goatskins** (mimeo).
- Landes, D. (1979), **Progreso tecnológico y Revolución Industrial**, Editorial Tecnos, Madrid.
- Larsson, E. y R. Williams (1995), "Biomass Plantation, Energy Systems and Sustainable Development"; en Goldemberg, J. y T. Johansson (eds.), op. cit.
- Mackenzie, D. y J. Wajcman (1985), **The Social Shaping of Technology**, Philadelphia: Open University Press.
- Maddison, A. (1982), **Las fases del desarrollo capitalista**, México DF: El Colegio de México/Fondo de Cultura Económica.

- Maihold, G. y V.L. Urquidi (Compiladores) (1990), **Diálogo con nuestro futuro común. Perspectivas latinoamericanas del Informe Brundland**, Caracas: Fundación Friedrich Ebert-México y Editorial Nueva Sociedad.
- Mandel, E. (1986), **Las ondas largas del desarrollo capitalista. La interpretación marxista**, Madrid: Siglo XXI Editores.
- Marengo, H. (1995), "La ingeniería de presas y la hidrogenación en las próximas décadas"; en **Ingeniería Civil**, No. 313.
- Martínez, M. y L. Rodríguez (1994), **Evaluación de tecnologías que usan energías renovables** (mimeo), México DF.
- Martínez Alier, J. (1994), "La Economía ambiental y la internalización de las externalidades"; en PNUMA, **Foro Ambiental**, vol 5, No. 9.
- Martins, D. y J. González (1995), "A conservacao de energia e o meio ambiente no Brasil"; en **Clima Brasil**, Boletín Informativo de la Red de Acción Climática, año III, No. 5.
- Micheli, J. (Compilador) (1983), **Tecnología y modernización económica**, México DF: Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco y Conacyt, México DF.
- Mieres, F. (1988), "Las dificultades de la OPEP y el futuro del petróleo"; en CEAMO, **Estudios y Compilaciones**, vol 5, No. 2, La Habana.
- Monreal, P. (1988), **Tecnología Flexible y Crisis Económica**, La Habana: CIEM.
- Monreal, P. (1987), "Tecnología y subdesarrollo en América Latina. Reflexiones en torno a la tecnología flexible"; en **Temas de Economía Mundial**, No. 20, La Habana: CIEM.
- Morse, F.H. (1990), "Opportunity Knocks for Solar Thermal"; en **Solar Today**; enero-febrero/90.
- Mumford, L. (1962), **Technics and Civilization**, Londres: Routledge & Kegan Paul LTD.
- Naciones Unidas (1992a), **Climate Change and Transnational Corporations**, Economic Series No. 2, New York.
- Naciones Unidas (1990a), **Perspectivas socioeconómicas generales de la economía mundial hasta el año 2000**, New York: ONU.
- Naciones Unidas (1997), **Potentials and Policy Implications of Energy and Material Efficiency Improvement**, New York.
- Naciones Unidas (1992b), **Problemas y necesidades especiales de los países insulares en desarrollo. Informe del Secretario General, A/47/414**.
- Naciones Unidas (1990b), **Technology Trade Policy and the Uruguay Round**, Nueva York.
- Nadal, A. (1992), "Economía Ambiental y Cambio Climático: externalidades y régimen regulatorio por creación de mercados"; en **Comercio Exterior**, vol. 42, No. 7, México DF.
- Njie, N. (1995), "Energy's Role in Deforestation and Land Degradation", en Goldemberg J. y T.

Johansson (eds.), op. cit.

-Nolla, A. y E. Mondragón (1995), "La madera como combustible renovable"; en **Ingeniería Civil**, No. 313.

-Noriega, L. (1994), "Programa de Cogeneración en México"; en SEMIP-IEA-Conae, **Eficiencia Energética en América Latina**, op. cit.

-Norsk Utenrikspolitisk Intitutt (1990), **Sustainable Development**. Forum No. 1/90, Oslo.

-OECD (1995), **Las pequeñas y medianas empresas: tecnología y competitividad**, Coedición OECD-Ediciones Mundi Prensa, México DF.

-OECD (1977), **Oil Statistics 1960-1975**, París: OECD.

-OECD (1996), **The Environment Industry**. The Washington Meeting, París.

-OLADE (1988a), **La Deuda Externa y el Sector Energético en América Latina y el Caribe. Evaluación, Perspectivas y Opciones**, Quito: OLADE.

-OLADE (1988b), **La Integración del Sector Energético. Aporte Fundamental para la Transformación Económica de América Latina y el Caribe**, Quito: OLADE.

-OLADE (1995), **Sistema de Información Estadística y Energética (SIEE)**, Quito: OLADE.

-Ominami, C. (ed.) (1986), **La Tercera Revolución Industrial. Impactos internacionales del actual viraje tecnológico**, Buenos Aires: Grupo Editor Latinoamericano.

-OMM/PNUMA (Organización Meteorológica Mundial/Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente) (1992), **Cambio Climático. Las evaluaciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre los Cambios Climáticos (IPCC) de 1990 y 1992**, Canadá.

-OPEC (1995), **OPEC Review**, vol. XIX, No. 1.

-OPEC (1996), **OPEC Review**, diciembre/96.

-**OPEC Bulletin**, varios números.

-Pagá, E. y N. Gürer (1996), "A Comparative Analysis of World Energy-Use Patterns and Related CO₂ Emissions"; en **OPEC Review**, diciembre/96.

-Pantin, D. (1994), **The Economics of Sustainable Development in Small Caribbean Islands**, Trinidad-Tobago.

-Pearce D. y J. Warford (1993), **World Without End. Economics, Environment and Sustainable Development**, Oxford University Press.

-PEF (Poder Ejecutivo Federal) (1996), **Programa de Medio Ambiente 1995-2000**, México DF.

-Perera, J. (1989), "To Hot to Handle"; en **South**, 6/89.

-Pérez, C. (1986), "Las nuevas tecnologías: una visión de conjunto"; en Ominami, C., op. cit.

-**Petroleum Economist**, varios números.

- Potter, G.A. (1992), **Medio Ambiente Ecológico y Desarrollo Sustentable** (mimeo), Lima.
- Priddle, R. (1995), **Remarks to the First Meeting of the Conference of the Parties of the UNFCCC**, Berlín.
- Pronk, J. y M. Haq (1992), **Sustainable Development. From Concept to Action** (The Hague Report), La Haya.
- Provencio, E. y J. Carabias (1992), "El enfoque del desarrollo sustentable. Una nota introductoria"; en **Problemas del Desarrollo**, México DF, No. 91, vol. XXIII.
- Rahman, et. al. (eds.) (1993), **Consumption Versus Population**, Bruselas.
- Rangel, C. (1995), "Administración de la energía como una estrategia para reducir costos"; en SE, et. al., **Seminario de Ahorro de Energía**, op. cit.
- Reddy, A.K. (1990), "Energy for Sustainable Development"; en **International Journal of Global Energy Issues**, vol. 2, No. 3, Oxford.
- Reddy, A.K. (1979), **Technology, Development and Environment. A re-appraisal**, Nairobi: PNUMA.
- Rodríguez, V. y R. Vargas (1996), "Energy Reform in Mexico. A New Development Model or Modernization of Statism?"; en **Energy Policy**, vol. 24, No. 3.
- Rojas, J.A. (1989), **Desarrollo Nuclear de México**, UNAM, México DF.
- Rojas, J.A. (1990), "México: integración petrolera con EE.UU. y Canadá"; en **Dynamics. Boletín de Energía de la UNAM**, marzo-abril/90.
- Rolfe, D. (1990), "Gas guzzlers return"; en **South**, 2/90.
- Romm, J. y C. Curties (1996), "Congressional Budget Cuts Could Halt Renewable Energy Revolution"; en **The Atlantic Monthly**, abril/96, <http://www.cais.com/publish/stories/0596alt2.html>, fecha de captura: 23-07-97.
- Rosenberg, N. (1982), **Inside the Black Box. Economics and Technology**, Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosenberg, N. (1988), "New Technologies and Old Debates"; en Bhalla, A.S. y D. James (eds.), **New Technologies and Development**, Londres: Lynne Rienner Publishers.
- Ross, T. (1991), **Global Climate Change. The Role of Technology Transfer**.
- Rothwell, R. y Zegveld, W. (1985), **Reindustrialization and Technology**, Londres: Longman Group Limited.
- Sagasti, F. R. (1983), "Perspectivas futuras de la ciencia y la tecnología en América Latina"; en Ominami, C. (ed.), **Tercera Revolución Industrial**, op. cit.
- Saldívar, A. (1996), "Del crecimiento económico al desarrollo sustentable". Ponencia presentada en la XII Conferencia de la AFEIEAL, México DF.
- Sánchez, G. (1993), **Grandes interrogantes del desarrollo energético. América Latina y el Caribe**, Quito.

- Sanhueza, E., S. Van Hauwermeiren y B. De Wel (1994), **Implementación Conjunta. Condiciones para un mecanismo justo**, Santiago de Chile: Instituto de Ecología Política.
- Schoijet, M. (1981), "Ideología y tecnología"; en **Ensayos**, vol. III, No. 9.
- Schoijet, M. (1994), "Política e ideología del movimiento ecologista"; en **Memoria**, No. 73/94.
- Schurr, S. et. al. (1979), **Energy in America's Future**, Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- SE (Secretaría de Energía) (1995), **Balance Nacional de Energía 1994**, México DF.
- SE (1996a), **Balance Nacional de Energía 1995**, México DF.
- SE (1996b), **Programa de Desarrollo y Reestructuración del Sector de la Energía 1995-2000**. Resumen, Mexico D.F.
- SE (1997a), **Prontuario del sector energético 1991-1996**, México DF.
- SE (1997b), **Prospectiva del mercado de gas natural 1997-2006**, México, DF.
- SE-Conae (1995a), **Diagnósticos energéticos**, México DF.
- SE-Conae (1995b), **Potencial Nacional de Cogeneración 1995**, México DF.
- SE, et. al. (1995), **Seminario de Ahorro de Energía (Memoria)**, México, DF.
- Sedesol (Secretaría de Desarrollo Social)-INE (1994), **México. Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente 1993-94**, México DF.
- Sejenovich, H. (1990), "La viabilidad del desarrollo sustentable en América Latina y el Caribe"; en Maihold, G. y V. Urquidi, op. cit.
- SELA (1991), **Desarrollo Industrial y Cambio Tecnológico: Políticas para América Latina y el Caribe en los 1990s**, Caracas: Editorial Nueva Sociedad.
- SEMIP (Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal) (1991), **Balance Nacional de Energía 1990**, México DF.
- SEMIP (1994), **Balance Nacional de Energía 1993**, México DF.
- SEMIP-IEA-Conae (1994), **Eficiencia energética en América Latina**. Memorias de Conferencia celebrada en Cancún, en marzo de 1994.
- SEMIP, et. al. (1994), **Seminario Internacional sobre Financiamiento en el Ahorro de Energía (Memorias)**, México, DF.
- Sheinbaum, C. (1995), "Tendencias del consumo de energía en México"; en SE, et. al., **Seminario de Ahorro de Energía**, op. cit.
- Sheinbaum, C. y L. Rodríguez (1996a), "Inventario de emisiones de CO₂ debido al uso de energía especial: energía eléctrica"; en INE, et. al, **México ante el cambio climático (Memorias II)**, op. cit.
- Sheinbaum, C. y L. Rodríguez (1996b), **Inventory of Greenhouse gas emissions associated to energy use in Mexico (1987-1993)**. Proyecto 5122/Informe elaborado para el

Instituto Nacional de Ecología, México DF.

-Sheinbaum, C. y L. Rodríguez (1995), "Metodología *"bottom up"* para el análisis de las emisiones de gases de invernadero debidas al uso de la energía"; en INE, et. al., **México ante el cambio climático** (Memorias I), op. cit.

-Sissine, F (1997a), "Energy Efficiency: A New National Outlook?" (Updated December 1996), <http://www.cnie.org/nle/eng-28.html>, fecha de captura: 22-07-97.

-Sissine, F. (1997b), "Renewable Energy: A New National Commitment?", <http://www.crest.org/renewables/crs/re/...>, fecha de captura: 22-07-97.

-Sissine, F. (1997c), "Renewable Energy: A New National Outlook?", <http://www.cnie.org/nle/eng-29.html>, fecha de captura: 22-07-97.

-Skinner, C. (1990), "Power of the Sun"; en **South**, 5/90.

-**Solar Today**, enero-febrero, 1990.

-South Centre (1991), **Environment and Development**, Ginebra.

-Souza, A. (1994), "Financiamiento en ahorro de energía. Mecanismos financieros exitosos. La visión de un Banco Central"; en SEMIP, et. al, **Seminario Internacional sobre Financiamiento en el Ahorro de Energía**, op. cit.

-Speth, J. (1995), **Statement to the First Conference of the Parties to the UNFCCC**, Berlín.

-Stewart, F. (1978), **Technology and Underdevelopment**, Londres: THE MACMILLAN PRESS LTD.

-Suárez, C. (1994), "Eficiencia energética y su impacto en el ambiente"; en SEMIP-IEA-Conae, **Eficiencia energética en América Latina**, op. cit.

-Suárez, C.E. (1995), "Energy Needs for Sustainable Human Development"; en Goldemberg, J. y T. Johansson (eds.), op. cit.

-Sunkel, O. (1990), "El difícil contexto internacional para un desarrollo sustentable"; en Mainhold, G. y V. Urquidí, op. cit.

-Tamames, R. (1977), **Ecología y desarrollo. La polémica sobre los límites al crecimiento**, Alianza Editorial SA, Madrid.

-Tietenberg, T. (1976), **Energy Planning and Policy**, Lexington Books.

-Treviño, M. (1994), "Mecanismos de Apoyo Financiero del FIDE"; en SEMIP, et. al., **Seminario Internacional sobre Financiamiento en el Ahorro de Energía**, op. cit.

-Treviño, M. y J.A. Urteaga (1995), "El programa de ahorro de energía del sector eléctrico: experiencias, resultados obtenidos y metas por alcanzar"; en SE, et. al., **Seminario de Ahorro de Energía**, op. cit.

-Tudela, F. (1990), "La crisis y la relación entre medio ambiente y desarrollo en América Latina"; en Mainhold, G. y V. Urquidí, op. cit.

-UNCTAD (1992), **Combating Global Warming. Study on a Global System of Tradeable**

Carbon Emission Entitlements, Nueva York.

-UNCTAD (1986), **Technology for Energy Sector Development in Developing Countries**, New York.

-UNCTAD (1989), **Technology Policy in the Energy Sector: Issues, Scope and Options for Developing Countries**, (UNCTAD/TT/90), New York: UNCTAD.

-UNCTAD (1991), **Transfer and development of technology in a changing world environment: the challenges of the 1990s**, (TD/B/C.6/153), Ginebra, 1991.

-UNCTC (United Nations Centre on Transnational Corporations) (1991), **Criteria for Sustainable Development Management**, New York.

-UNDP (1997), **Energy After Rio. Prospects and Challenges**. Executive Summary, New York.

-UNDP, **Human Development Report**, New York: Oxford University Press, varios números.

-USCAN/CAN (United States Climate Action Network/Climate Action Network Europe) (1995), **Independent NGO Evaluations of National Plans for Climate Change Mitigation. OECD Countries**, Third Review.

-Videla, E. (1994), "Panorama del potencial de ahorro en el sector industrial de América Latina"; en SEMIP-IEA-Conae, **Eficiencia Energética en América Latina**, op. cit.

-Villaseñor, J. (1994), "Opciones de crédito para proyectos de ahorro de energía"; en SEMIP, et. al, **Seminario Internacional sobre Financiamiento en el Ahorro de Energía**, op. cit.

-Viqueira, J. (1995), "El desarrollo futuro de la industria eléctrica mexicana"; en **Problemas del Desarrollo**, vol. 26, No. 101, México, DF: Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM.

-Viqueira, J. (1994), **Electric Power Regulation in Mexico**, UNAM, México DF.

-Viqueira, J. (1987), "Problemas de la Energía en México"; en **Revista Interamericana de Planificación**, vol. XXI, No. 82.

-Walker, I.O. (1992), **Global Economic Repercussions of a Pigouvian Tax: Who Bears the Brunt?**, IIASA, Laxenburg, Austria.

-WCED (The World Commission on Environment and Development) (1987), **Our Common Future**, Oxford: Oxford University Press.

-Wilford, M. (1991), **Insuring Against the Consequences of the Sea Level Rise**, CIEL-AOSIS Background Paper, 4/1991.

-Williams, S. (1990), "Energy and Environment. Technology Assessment and Policy Options"; en **Industry and Environment**, París.

-Wirtshafter, R. y E. Shih (1990), "Decentralization of China's Electricity Sector. Is Small Beautiful?"; en **World Development**, vol. 18, No. 4, Oxford: Pergamon Press.

-WRI (World Resources Institute) (1987), **Energy for Development**, Washington D.C.: WRI.

- WRI (1989), **World Resources 1988-89**, New York: Oxford University Press.
- WRI (1990), **World Resources 1990-91**, New York: Oxford University Press.
- WRI (1992), **World Resources 1992-93**, New York: Oxford University Press.
- WRI (1994), **World Resources 1994-95**, New York: Oxford University Press.
- WRI (1996), **World Resources 1996-97**, New York: Oxford University Press.
- WWF (1995), **Sustainable Energy Technology in the South. A Report to WWF**, Gland, Suiza.
- WWF (1993), **Sustainable Use of Natural Resources. Concepts, Issues and Criteria**, Gland, Suiza.
- Yoda, K. (1990), "Japan Energy Conservation Policy"; en **Industry and Development**, París: UNEP.
- Zadek, S. y C. Haas (1997), "¿Perjudica el crecimiento económico al medio ambiente?. Una crítica a la curva de Kuznets"; en **Economía Informa**, Facultad de Economía, UNAM, No. 253, México DF.

ABREVIATURAS MAS UTILIZADAS Y FACTORES DE CONVERSION

AIE:	Agencia Internacional de Energía.
AIEA:	Agencia Internacional de Energía Atómica.
AOD:	Ayuda Oficial para el Desarrollo.
BP:	<i>British Petroleum Co.</i>
BPE:	barriles de petróleo equivalente.
BTU:	siglas en Inglés de unidades térmicas británicas (<i>British Thermal Units</i>)
CEPAL:	Comisión Económica para América Latina.
CFE:	Comisión Federal de Electricidad.
CMNUCC:	Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
CNUMAD:	Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
CO₂:	Dióxido de carbono.
Conae:	Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.
COP:	siglas en Inglés de Conferencia de las Partes.
CRE:	Comisión Reguladora de Energía.
DOE:	siglas en Inglés del Departamento de Energía de EE.UU.
ECU:	siglas en Inglés de Unidad de Cuenta Europea.
Ex-URSS:	ex-Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas.
FAO:	siglas en Inglés de la Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
FIDE:	Fideicomiso de Apoyo al PAESE.
FMI:	Fondo Monetario Internacional.
GEF:	siglas en Inglés del Fondo para el Medio Ambiente Mundial.
GEI:	gases de efecto invernadero.
IAEA:	siglas en Inglés de la AIEA.
IANPE:	Indice de Ajuste al Nuevo Paradigma Energético.
ICG:	Indice de Consumo de Gas
I-D:	Investigación y Desarrollo.
IDH:	Indice de Desarrollo Humano.
IEA:	siglas en Inglés de la AIE.
IECES:	Indice de Eficiencia y Cobertura Energética Sostenible.
IECNF:	Indice de consumo de Energía Comercial No Fósil.
IECR:	Indice de consumo de Energía Comercial Renovable.
INDICO:	Innovación, Difusión y Competitividad.
INE:	Instituto Nacional de Ecología
INEGI:	Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática.
IPCC:	siglas en Inglés del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático.
LyFC:	Luz y Fuerza del Centro.
MBD:	millones de barriles diarios.
MT:	millones de toneladas.
NIEs:	nuevas economías industrializadas.
OCDE:	Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.
OECD:	siglas en Inglés de la OCDE.
OLADE:	Organización Latinoamericana de Energía.
OMM:	Organización Meteorológica Mundial.
ONG:	Organización No Gubernamental.
OPEC:	siglas en Inglés de OPEP.

OPEP:	Organización de Países Exportadores de Petróleo.
PAESE:	Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico.
PE:	potencial económico
PEF:	Poder Ejecutivo Federal.
Pemex:	Petróleos Mexicanos.
PIB:	Producto Interno Bruto.
PM:	potencial de mercado.
PNB:	Producto Nacional Bruto.
PNUD:	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
PNUMA:	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
ppmv:	partículas por millón en volumen.
PS:	potencial de sustentabilidad.
PTc:	potencial técnico.
PTr:	potencial teórico.
Pymes:	pequeñas y medianas empresas.
SE:	Secretaría de Energía.
Sedesol:	Secretaría de Desarrollo Social.
SELA:	Sistema Económico Latinoamericano.
UN:	siglas en Inglés de Naciones Unidas.
UNAM:	Universidad Nacional Autónoma de México.
UNCTAD:	siglas en Inglés de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo.
UNDP:	siglas en Inglés del PNUD.
USCAN:	siglas en Inglés de la Red de Acción Climática de EE.UU.
WCED:	siglas en Inglés de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo.
WRI:	siglas en Inglés del Instituto Mundial de Recursos.
ZMCM:	Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Factores de conversión

1 Petajoule = 10^{15} Joules = 947.8×10^9 BTU = 163 400 Barriles de petróleo.

1 Tonelada métrica de petróleo crudo = 7.33 Barriles

1 KWh = 860 Kilocalorías = 3 412 BTU

1 QUAD = 10^{15} BTU.

Peta = 10^{15} ; Tera = 10^{12} ; Giga = 10^9 ; Mega = 10^6 ; Kilo = 10^3 .

Fuentes: WRI (1996); BP (1997)