



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

"PROPUESTA DE DIVERSIFICACIÓN ENERGÉTICA EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EMPLEANDO FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA COMO ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO SOSTENIDO DE MÉXICO A LARGO PLAZO".

T E S I S

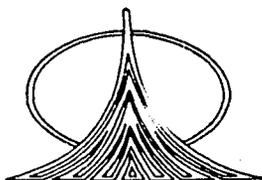
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O Q U Í M I C O

P R E S E N T A

ELISA BLANCA VIÑAS REYES

ASESOR: I.Q. RAFAEL SÁNCHEZ DIRZO



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

PAGINACIÓN DISCONTINUA



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/052/02

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNA: VIÑAS REYES ELISA BLANCA
P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

Presidente:	M. en C. Alejandro Rogel Ramírez
Vocal:	I.Q. Rafael Sánchez Dirzo
Secretario:	I.Q. Roberto Ramírez Torres
Suplente:	I.Q. Dominga Ortiz Bautista
Suplente:	I.I. Espiridión Muñoz Rivera

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
México, D. F., 6 de Junio de 2002

EL JEFE DE LA CARRERA

I.Q. ARTURO E. MENDEZ GUTIERREZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



DÆDICATORIA



✚ A J.C.

Por estar con migo en todo momento, y amarme como nadie jamás esperaríá que lo hiciera. Gracias Amigo.

✚ A MI MADRE

Por sacrificar tus sueños para que los míos se hicieran realidad
Por infundir en mi la perseverancia y el coraje de luchar sin darme nunca por vencida dando siempre lo mejor de mi misma
Pero sobre todo por amarme incondicionalmente.

✚ A MI PADRE

Por estar con nosotros e inculcarme valores eternos e inmutables y por tu gran amor.

✚ AMIS PADRINOS

Dra. Maria del Socorro e Ing. Noé

Por ser como mis segundos padres, a mi madrina porque al igual que mi madre son luchadoras incansables y un ejemplo digno de seguir, en verdad muchas gracias, los quiero mucho.

✚ A MIS HERMANOS

Por haber crecido juntos, por su cariño y por ser uno de los mejores regalos que Dios me dio.

✚ A MIS AMIGOS

JENNIFER Por existir y haberte encontrado, por compartir con migo lo mejor de tu humanidad fuera de lo común, pero sobre todo por ser mi mejor amiga. Ocupas un lugar especial en mi existencia.

ADRIANA Cuando te vi por primera vez supe que siempre serias mi amiga y que podría contar siempre con tigo.

TEBOS CON
FALLA DE ORIGEN



DEDICATORIA



- VIOLETA Por tu amistad incondicional, por tu apoyo durante la carrera y por que siempre te acuerdas de mi. Yo nunca te olvidare.
- MONICA Por tu apoyo, por escucharme y confiar en mi.
- PABLO Y RODOLFO Por ser unos de mis mejores amigos, por estar siempre con migo, y por permitirme conocer ese gran ser que llevan dentro.
- TOMAS Y GILBERTO Por brindarme su amistad, por compartir con migo sus conocimientos y por su paciencia para explicarme con abejitas.
- JOSE LUIS Por brindarme tu amistad por toda la eternidad y por creer en mi. Siempre te recordare.

↓ A TODOS MIS PROFESORES

Gracias por enseñarme lo que saben de una manera amable, abierta y verdadera.

↓ A M. en C. RAFAEL SÁNCHEZ DIRZO

Que me hizo participe del conocimiento de las fuentes renovables de energía y por haberme dirigido durante la realización de esta tesis.

Maestro no es el que enseña al otro lo que no sabe, si no que hace de el lo que debe llegar a ser. Gracias

↓ A MIS SINODALES

Por brindar parte de su tiempo contribuyendo así, al mejoramiento del presente trabajo.

↓ Y A TODOS

Los que directa o indirectamente contribuyeron a que yo materializara mis sueños y por ser mi vida más agradable.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



A raíz de las crisis energéticas que han afectado al mundo y que se manifiestan entre otras muchas variantes en las enormes fluctuaciones del precio internacional del petróleo y en lo particular en el impacto que dichas crisis han tenido en la problemática de la conservación y uso de los recursos energéticos a nivel mundial en especial de los combustibles fósiles ya que se hizo evidente que estos son recursos finitos los cuales tarde o temprano se agotarán, además de que los procesos de extracción, conversión a energía útil y su uso final, tienen impactos ambientales negativos que pueden llegar a ser irreversibles y que la falta de abastecimiento de estos también pueden ocasionar revueltas sociales en regiones sensibles ya que los requerimientos energéticos mundiales son cada vez mayores especialmente en los países en desarrollo debido a que requieren un mayor consumo de energía para seguir creciendo como es el caso de México en donde las expectativas de crecimiento en la demanda de electricidad son de por lo menos un 6% anual para los próximos seis años. El origen de este crecimiento acelerado se encuentra principalmente en el crecimiento de la población y la mejora paulatina de los niveles de vida que suponen mayores consumos de energía principalmente eléctrica.

El Sector Energético es una pieza clave del desarrollo de las naciones y siendo un sector tan dinámico, exige un continuo proceso de análisis y reflexión lo cual nos permitirá aprovechar oportunidades y minimizar riesgos.

Actualmente el Sector Energético del país atraviesa por una grave crisis financiera e institucional, obstáculos que son precisos de superar para incrementar la eficiencia energética y reducir el impacto sobre el ambiente, al igual que reducir los riesgos en la seguridad de abasto y así garantizar el desarrollo sostenido del país y sin poner en riesgo los intereses de futuras generaciones.

Por lo anterior, esta tesis se presenta como una necesidad cada vez más apremiante el de impulsar reformas legales estructurales del sector energético para darles a las energías renovables el lugar que merecen como un factor importante para el desarrollo sustentable del país, la diversificación energética, la disminución de los impactos ambientales que actualmente provocan las energías convencionales, y el aprovechamiento de los amplios potenciales del país en este campo.



El Sector Energético Mexicano actualmente atraviesa por una profunda crisis en su desarrollo. Dicha crisis, consecuencia de restricciones de tipo financiero, de políticas energéticas ineficientes, crisis energéticas mundiales, endeudamientos del sector tanto internos como externos y hasta corrupción, entre muchas más, representan un cuello de botella para su sano desarrollo.

El sector energético de un país tiene una de las más altas prioridades y principalmente para México como país en desarrollo ya que se requiere un mayor suministro de energía, en particular eléctrica, de forma oportuna y eficiente para el desempeño de las actividades cotidianas que requiere la vida moderna.

El país cuenta con bastos recursos energéticos renovables y no renovables que pueden ser aprovechados para satisfacer la creciente demanda energética pero el interés, la investigación y el desarrollo de esta se ve igualmente limitado ya sea por que no se cuenta con planes estratégicos para su aprovechamiento o no se tiene la infraestructura y los recursos humanos adecuados o simplemente hay un conformismo con seguir explotando los recursos convencionales debido a su abundancia y rentabilidad comparados con las formas no convencionales. Sin embargo existen muchas ventajas aportadas por las formas no convencionales de generar energía como es el caso de la energía solar, la eólica, la geotérmica principalmente, puesto que esta energías además de ser más benignas con respecto al medio ambiente, son más eficientes en cuanto a su uso, son virtualmente renovables, y brindan además la posibilidad de librar a muchos países de ataduras estratégicas y para que puedan desarrollarse de una mejor manera. Razón por la que muchos países han invertido fuertes cantidades de dinero en impulsar la investigación y desarrollo de tecnologías para el uso de estas formas de energía.



México cuenta con un importante potencial de recursos energéticos renovables, cuyo desarrollo le permitirá contar con una mayor diversificación energética, ampliar su base industrial, atenuar los impactos ambientales negativos causados por el uso final de los energéticos convencionales, prolongar la vida de sus reservas petroleras y asegurar su competencia global.

Por lo tanto la presente tesis tiene como objetivo principal dar a conocer las ventajas energéticas y con ellas las económicas, políticas, sociales y ambientales que se tendría como consecuencia de implementar una política energética nacional que impulse diversificación energética basada en el uso de fuentes renovables de energía en la generación de electricidad .

Otros objetivos que se persiguen con el siguiente trabajo son: hacer un diagnostico del sector energético mexicano; realizar una evaluación del potencial disponible de todas las fuentes de energía primarias tanto a nivel nacional como internacional y, difundir el conocimiento de proyectos y tecnología que actualmente esta siendo desarrolla en el ámbito internacional con el fin aprovechar las fuentes renovables de energía para generación de electricidad como principal premisa.



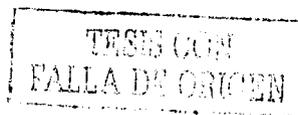
ÍNDICE	i
JUSTIFICACIÓN	I
INTRODUCCIÓN	II

CAPITULO 1. DIAGNOSTICO DEL SECTOR ENERGETICO NACIONAL 1

1.1 Panorama del Sector Energético Nacional	2
1.1.1 La industria eléctrica	2
1.1.2 La industria petrolera	4
1.2 Aspectos de la Política Energética Mexicana y su interrelación con el sector Energético	8
1.2.1 La política de generación de la energía	8
1.2.2 La política de precios de la energía	10
1.2.3 La política de inversión en el sector energético nacional	12
1.2.4 La oferta y la demanda energética	14
1.3 Relación Energía y Economía	15
1.3.1 La eficiencia en el uso de la energía	18
1.3.2 Estructura del balance energético	19
1.4 Energía y Calidad de Vida	21
1.5 Energía y Ecología	25
Conclusiones	31

CAPITULO 2. POTENCIAL DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS DE MÉXICO Y EL MUNDO. 32

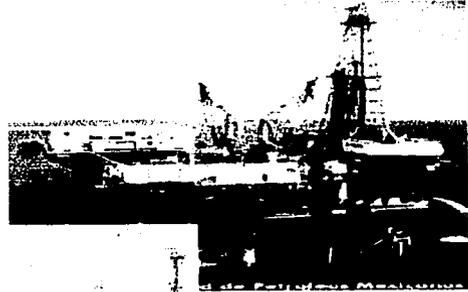
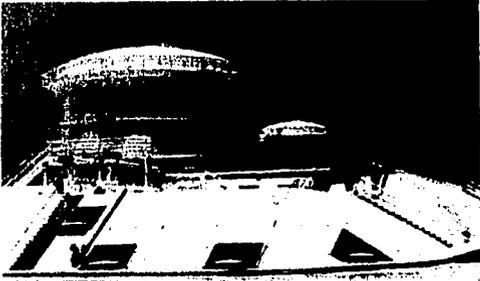
2.1 Recursos Energéticos	33
2.1.1 Energía de la biomasa	33
2.1.2 Carbón	37
2.1.3 Energía eólica	38
2.1.4 Energía geotérmica	49
2.1.5 Energía hidráulica	54
2.1.6 Hidrocarburos	58
2.1.7 Energía nuclear	66





2.1.8	Energía de los océanos.....	73
2.1.9	Energía solar.....	75
Conclusiones.....		88
 CAPITULO 3. LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGÍA COMO FUENTES ALTERNAS DE ENERGÍA EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN MÉXICO.		89
3.1	Aprovechamiento de las Fuentes de Energía Renovables en el mundo para la Generación de Energía Eléctrica	90
3.1.1	Bioenergía.....	90
3.1.2	Eoloenergía.....	93
3.1.3	Geotermoenergía.....	94
3.1.4	Hidroenergía.....	98
3.1.5	Energía de los océanos.....	100
3.1.6	Energía solar.....	104
3.2	Aprovechamiento de las Fuentes Renovables en México.....	111
3.2.1	Eoloenergía.....	112
3.2.2	Hidroenergía.....	112
3.2.3	Energía solar.....	113
3.3	El Uso de las fuentes Renovables de Energía en la generación de Energía Eléctrica y sus Implicaciones en el Desarrollo Sustentable del País.	115
Conclusión.....		126
 CONCLUSIONES GENERALES.....		127
BIBLIOGRAFÍA.....		129
GLOSARIO.....		132
ABREVIATURAS.....		134
ÍNDICE DE TABLAS.....		iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....		iv
ÍNDICE DE IMÁGENES.....		v





CAPITULO 1

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN





1. DIAGNÓSTICO DEL SECTOR ENERGÉTICO MEXICANO

Actualmente el sector energético de nuestro país atraviesa por una grave crisis que restringe su desarrollo debido a un limitado financiamiento para solventar e impulsar proyectos y programas de generación, transmisión, distribución, mantenimiento, rehabilitación y modernización de su infraestructura. También, la política energética ineficiente, las crisis petroleras a nivel mundial y la deuda tanto interna como externa contribuyeron y contribuyen a frenar su desarrollo.

El rezago del sector energético repercute grandemente en el desarrollo económico e industrial del país debido a que se requiere cada vez más de una disponibilidad de energía varias veces mayor a la que existe en el presente. Este es uno de los desafíos fundamentales a los que se enfrenta México como país en vías de desarrollo: cómo lograr crecimiento económico y distribuir adecuadamente la riqueza generada por él, sin destruir las opciones para sostener estas condiciones de bienestar y justicia social, destrucción que ocurre con una utilización ineficiente e irracional de la energía. Sin embargo, la utilización racional de la energía no es un concepto simplista, ni desde el punto de vista ecológico ni desde el social. En efecto, la conservación a ultranza de los recursos energéticos en el ámbito mundial no solo el nacional conduciría a mayores tensiones políticas y sociales.

El problema de la energía presenta muchas facetas y un enfoque apropiado al mismo no puede evitar ser multidisciplinario e interactivo ya que abarca aspectos económicos, políticos, sociales y el no menos importante aspecto ecológico.

En este capítulo también se hace énfasis sobre la marcada dependencia económica y energética que se tiene en los hidrocarburos como fuente de energía primaria lo cual representa una constricción estructural, que le da al sistema una inercia y rigidez difíciles de vencer frente a las necesidades de diversificar nuestras fuentes energéticas.



1.1 PANORAMA DEL SECTOR ENERGÉTICO NACIONAL.

El sector energético comprende aquí básicamente las industrias petrolera y eléctrica y sus respectivas empresas: Petróleos Mexicanos (Pemex) y Comisión Federal de Electricidad (CFE).

1.1.1 La Industria Eléctrica

En México la generación, transmisión, distribución y venta de energía eléctrica que tienen por objeto la prestación del servicio público, son actividades de competencia exclusiva de la CFE, en prácticamente todo el territorio nacional, y de Luz y Fuerza del Centro (LFC) que atiende el Distrito Federal y parte de los estados de México, Morelos, Hidalgo y Puebla.

En 1992, se reformó la Ley de Servicio Público de Energía Eléctrica para abrir un espacio limitado a la participación privada, tanto nacional como extranjera, en las actividades de generación de energía eléctrica bajo las modalidades de autoabastecimiento, cogeneración y producción independiente de energía (PIE). Este cambio implicó un reconocimiento a la necesidad de sumar el esfuerzo privado al sector para ampliar la oferta eléctrica. Sin embargo, el número de participantes privados es muy reducido debido a las restricciones que impone la estructura legal e institucional vigente a los autoabastecedores y cogeneradores. Además, los PIE han sido una solución transitoria para el financiamiento de nueva infraestructura, ya que no constituyen una alternativa permanente a la inversión pública.

▪ Estructura actual

La capacidad actual de generación de energía eléctrica del sector en su conjunto es de 36.1 mil MW. CFE participa con 90%, LFC con 2.3%, Pemex con 4.4% y generadores privados con el 3.3% restante. Además, existen tres proyectos tipo PIE que entraron en operación en 2000 y 2001 (Mérida III, Hermosillo y Río Bravo).



La red de transmisión es operada casi en su totalidad por CFE (98%) y marginalmente por LFC (2%). Por otro lado, el servicio de distribución es atendido por CFE (90.4% de la capacidad nacional) y por LFC (9.6%).

▪ Situación actual

A pesar de que en julio del 2000 entraron en operación nuevas plantas de generación eléctrica en diferentes regiones del país, que garantizan la dotación de la energía eléctrica para los próximos 4 años¹, la CFE en las licitaciones y concursos que actualmente promueve, el número de participantes es reducido, pues el poco interés de los inversionistas por estos proyectos es porque han considerado orientarse hacia otras áreas y naciones. Se dice que de no aprobarse la iniciativa de reforma que presentó el gobierno federal actual a los legisladores, la CFE enfrentará problemas para financiar sus proyectos (Altamira V, y VI; Tamazunchale; Tuxpan V; Río Bravo IV; Agua Prieta II; Baja California I y Durango), por lo que se estima urgente la participación de la iniciativa privada en esta actividad, toda vez que las necesidades de inversión del programa de instalación nueva serán de aproximadamente 50 mil millones de dólares hasta el año 2009, es decir un monto de poco más de 5 mil millones de dólares al año.

Estos recursos tendrán que canalizarse a los rubros de generación, transmisión, distribución, mantenimiento, rehabilitación y modernización de infraestructura. La tabla 1 muestra los cuantiosos requerimientos de inversiones que necesita México en infraestructura siendo las de mayor relevancia las del sector energético. Se estima que para el 2009 se requerirá una capacidad instalada de 60 mil MW en todo el país. Actualmente, la CFE tiene en construcción y adjudicados 8 mil 390 MW con 19 proyectos, además de que 1,036 están en licitación, 3 mil más se licitarán entre 2001 y 2002 y otros 12 mil MW se licitarán paulatinamente hasta el 2006.

¹ Informe de Gobierno, Contexto y Análisis



A su vez, LFC, se encuentra en una situación aún más difícil, ya que la mayor parte de sus instalaciones son obsoletas. –Iniciaron operaciones en las primeras décadas del siglo pasado–, situación que obligará a la empresa a canalizar fuertes inversiones para su modernización que repercuta en mayor eficiencia operativa.

Las fallas por el envejecimiento del equipo de la empresa ocasiona que 40% de la energía eléctrica que recibe de la CFE se pierda, a lo cual se le agrega el robo del fluido por asentamiento irregulares y ambulantes, así como la alteración en los medidores en las industrias por parte de los empresarios. Estas condiciones negativas que enfrenta LFC le representan pérdidas de alrededor de 2 mil millones de pesos al año.

En el 2001 LFC recibió un presupuesto de 4 mil 500 millones de pesos, recursos que utilizó para la expansión y modernización de sus deterioradas instalaciones. A pesar de que se pretende eficientar a la empresa, ésta enfrenta una situación laboral crítica, ya que la junta de gobierno ésta controlada por el Sindicato Mexicano de Electricistas (SME), lo que representa un costo laboral excesivo. Los puntos críticos que enfrenta son pasivos laborales insostenibles y prácticas de trabajadores tendientes a disminuir la productividad.

1.1.2 Industria Petrolera

Pemex es una de las diez más grandes empresas del mundo, tanto en términos de activos como de ingresos. Con base en el nivel de reservas y su capacidad de extracción y refinación, se encuentra entre las cinco compañías petroleras más importantes a nivel mundial.



Las actividades de Pemex abarcan la exploración y explotación de hidrocarburos, así como la producción, almacenamiento, distribución y comercialización de productos petrolíferos y petroquímicos. En virtud de que de conformidad con la legislación mexicana estas actividades corresponden en exclusiva al Estado, Pemex es un organismo público descentralizado.

▪ Organización

Pemex opera por conducto de un ente corporativo y cuatro organismos subsidiarios:

- *Pemex Exploración y Producción:* Tiene como objeto la exploración y explotación del petróleo y gas natural; su transporte y almacenamiento.
- *Pemex Refinación:* Tiene a su cargo los procesos industriales de la refinación; elaboración de productos petrolíferos y de derivados del petróleo que sean susceptibles de servir como materias primas industriales básicas; su almacenamiento, transporte, distribución y comercialización.
- *Pemex Gas y Petroquímica Básica:* Realiza el procesamiento del gas natural, líquidos del gas natural y del gas artificial; su almacenamiento, transporte, distribución y comercialización, así como de los derivados que sean susceptibles de servir como materias primas industriales básicas.
- *Pemex Petroquímica:* Es el responsable de los procesos industriales petroquímicos cuyos productos no forman parte de la industria petroquímica básica, así como su almacenamiento, distribución y comercialización.
- *P.M.I Comercio internacional:* Que realiza las actividades de comercio exterior de Petróleos Mexicanos.

El Gobierno Federal bajo el Artículo 27 de la Constitución Mexicana se reserva a través de Pemex la administración de todos los aspectos de la industria petrolera, que incluyen la exploración, producción, refinación, transporte, almacenamiento, distribución, y venta de petróleo.



Sin embargo, la participación del sector privado se permitió recientemente en la industria petroquímica al igual que el transporte, almacenamiento y la distribución de gas puede efectuarse por parte del mismo bajo licencia y también puede construir y operar sus propias tuberías, instalaciones y equipo.

El transporte de petróleo crudo y de productos refinados por tubería, así como el transporte de productos refinados por mar, vías ferroviarias y por carretera puede ser únicamente realizado por Pemex.

▪ Situación actual

En el presente sexenio se afirmó que la paraestatal sería transformada en una empresa manejada con criterios de eficiencia, sujeta a criterios de vanguardia a nivel mundial. El 28 de junio del 2000 se anuncia el inicio de la reforma estructural de la paraestatal a través de un aprovechamiento más eficiente de los recursos petroleros, mediante la transformación de Pemex en una empresa de clase mundial, con el apoyo no sólo del gobierno, sino de asociaciones con la iniciativa privada e inversiones del mismo sector.

TABLA 1
INVERSIONES ANUALES REQUERIDAS EN INFRAESTRUCTURA

	MONTO TOTAL mdp	MONTO ANUAL mdp	% DEL TOTAL
Petróleo	524,519	75,581	21.3
Electricidad	590,607	59,061	24.0
Telecomunicaciones	219,037	23,057	8.9
Carreteras	69,862	11,644	2.8
Agua	219,897	36,650	8.9
Protección ambiental	44,493	4,684	1.8
Gas natural	569,439	56,944	23.1
Otros	228,000	38,000	9.2
Total	2'465,854	305,621	100.0

Fuente: EL UNIVERSAL con datos de la CMIC, jueves 30 de agosto de 2001



Durante los últimos 20 años, Pemex sólo ha obtenido la mitad de los recursos presupuestales que requeriría para financiar sus programas, lo cual ocasionó una crisis de reservas petroleras que se está extendiendo a la producción y que no puede prolongarse más.

Una crisis mayor de reservas y producción petrolera significarían destrucción del valor de esta industria, riesgo de desabasto de gas natural y más adelante, caída de las exportaciones de petróleo crudo, pérdida de competitividad en el mercado petrolero internacional y reducción de ingresos fiscales para el gobierno federal.

Sin embargo la reforma estructural de la empresa aún no inicia, ya que no se han obtenido los recursos de inversión necesarios que permitan revertir la disminución de reservas y asegurar su rentabilidad.

Los requerimientos de inversión para la empresa para los próximos años son fuertes, alcanzan alrededor de 9 mil millones de dólares anuales, de las cuales más de 6 mil millones de dólares se tendrán que canalizar a actividades de exploración y producción de crudo y gas.

Pemex tiene frente un gran reto, el suministro de gas natural para las plantas de generación eléctrica que entrarán en operación en los próximos años, ya que se estima que la demanda pasará de 16% en el año 2000 a más del 60% en 2009. Energético que se debe entregar a tiempo y a precios competitivos.

Ante esta situación, para la CFE es fundamental que Pemex realice las acciones correspondientes para elevar la producción y la disponibilidad de gas, la cual tendrá que triplicarse al pasar de 4 mil millones de pies cúbicos (mmpc) en la actualidad a una cifra de entre 10 y 12 mil mmpc para el año 2010.



De acuerdo con especialistas en materia petrolera, debido a la rigidez presupuestales a las que está sujeta la empresa, tanto por el lado de los ingresos como de los egresos, los márgenes para financiar los montos de inversión requerida mediante recursos fiscales es bastante limitada. La capacidad de endeudamiento está restringida esencialmente por los techos gubernamentales establecidos sobre el sector público ya que se pretende mantener las finanzas públicas sanas, a lo cual se le agrega una enorme carga fiscal y pobre estructura de los impuestos petroleros que erosionan la creditividad de Pemex y limitan su endeudamiento.

1.2 ASPECTOS DE LA POLÍTICA ENERGÉTICA MEXICANA Y SU INTERRELACIÓN CON EL SECTOR ENERGÉTICO.

Algunos aspectos importantes de la política energética de México que son interesantes de analizar para un mejor diagnóstico del sector energético son:

1. La política de generación de la energía.
2. La política de precios o los precios de la energía
3. La política de inversión en el sector energía
4. La oferta y la demanda de energía eléctrica

1.2.1 La Política de Generación de la Energía.

En México como se observa en la tabla 2, la capacidad instalada termoeléctrica fue más del doble en el año 2000 que la hidroeléctrica y 25 veces mayor que la geotermoeléctrica, sin mencionar la eoloeléctrica. Esto se debe a que por razones de necesidad urgente, se recurrió a instalar termoeléctricas, aún, habiendo muchas posibilidades de explotación de otras fuentes como las renovables (solar, eólica, geotérmica, hidráulica, etc). La ventaja es que las termoeléctricas pueden entrar en operación en mucho menos tiempo que por ejemplo las hidroeléctricas.



TABLA 2
CAPACIDAD INSTALADA POR TIPO, 1990-2000 (MW)

año	carboeléctrica	nucleoeléctrica	hidroeléctrica	geotermoeléctrica	eoloeléctrica	Termoeléctrica	total
1990	1200	675	7805	700		14919	25299
1991	1200	675	7932	720		16272	26799
1992	1200	675	7932	730		16531	27068
1993	1900	675	8171	740		17718	29204
1994	1900	675	9121	753	2	19198	31649
1995	2250	1309	9329	753	2	19394	33037
1996	2600	1309	10034	744	2	20102	34791
1997	2600	1309	10034	750	2	20120	34815
1998	2600	1309	9700	750	2	20895	35256
1999	2600	1368	9619	750	2	21327	35666
2000	2600	1365	9619	875	2	21825	36265

Fuente: Secretaría de Energía, con información proporcionada por CFE y LFC para informe de gobierno. (2000)

La estructura de la producción de energía primaria recae principalmente en los hidrocarburos que en el 2000 la capacidad térmica instalada represento más del 60 %. Se observa una fuerte dependencia en los hidrocarburos para satisfacer las necesidades de energía del país. Esto puede ser atribuido a que no se cuenta con precios reales de los principales productos petrolíferos (gasolina, combustóleo, gas, entre otros) lo que contribuye a su uso indiscriminado e ineficiente y a los nulos esfuerzos de fomentar en México el empleo de las fuentes alternas de energía como las renovables para producir energía eléctrica; o también se puede atribuir a la marcada dependencia de la economía mexicana en los hidrocarburos por la contribución de estos a la balanza de pagos, a las finanzas públicas y por la generación de divisas al país. Es precisamente en el periodo de 1977-1985 cuando las exportaciones de petróleo alcanzan importantes volúmenes y se dice que la economía se petrolizó, aunque, actualmente la economía mexicana es menos dependiente de las exportaciones petroleras para la generación de divisas se dice que la tercera parte del ingreso federal continúa petrolizada.

Sien embargo en este año (2002) por primera vez se ha llevado al Congreso de la Unión, el tema de las energías renovables en el contexto de la reforma energética.



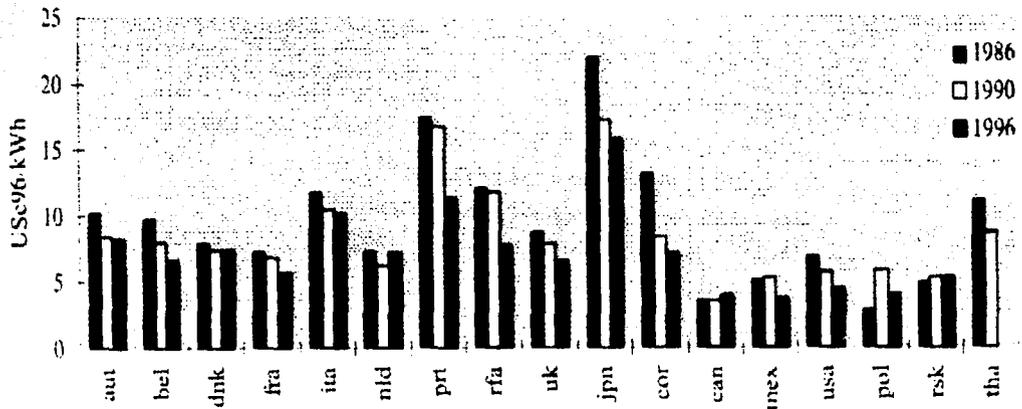
En esta primera reunión expresamente convocada para analizar la situación actual y perspectivas del aprovechamiento de las energías renovables en México, los participantes en el foro coincidieron en subrayar la necesidad de que, sin reformar la Constitución, el nuevo marco legal dé un reconocimiento jurídico expreso a las energías renovables y que el sistema eléctrico favorezca su aprovechamiento masivo.

1.2.2 Los Precios de la Energía en México

En cuanto a los precios de la energía, estos han sido tradicionalmente inferiores con respecto a los internacionales. Las tendencias difieren significativamente de un país a otro reflejando las diferentes políticas de impuestos a los combustibles.

Por ejemplo, la figura 1 muestra el precio promedio de la gasolina para diferentes países. En la Unión Europea, el precio de la gasolina en 1996 [7] presenta una variación en el precio de entre 1 y 1.2 dólares por litro (US/l), mientras que Estados Unidos, Canadá y México presentaron los precios más bajos con alrededor de 0.4 US\$/l.

FIGURA 1
PRECIOS PROMEDIO DE GASOLINA



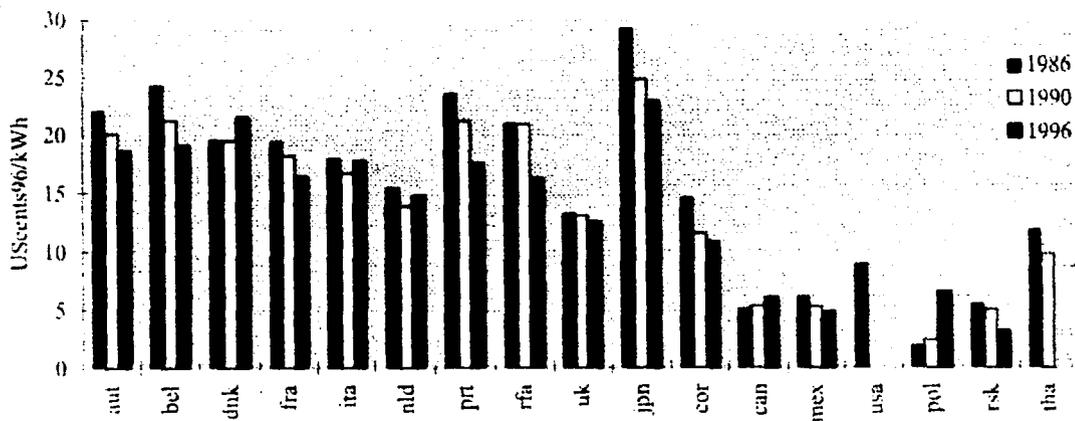
Fuente Energy efficiency Policies an Indicator for the Tokyo Conference, WEC, 1998



Con respecto a los precios de la electricidad (ver figura 2), el nivel de precios en el sector residencial varía en un amplio rango en países de la OCDE: Japón, Alemania, España y Dinamarca se encuentran en la cima con alrededor de 20 a 25 centavos de US por kWh (US de 1996); los países de América del Norte (Canadá, México y EUA), se encuentran en el nivel inferior con un promedio de entre 5 y 10 centavos de US/kWh.

En términos reales, el precio promedio de electricidad para el sector residencial regularmente disminuye. Y finalmente con respecto a los precios de la electricidad en el sector industrial, tres grupos de países destacan (ver figura 3): Japón con los más altos precios, México, Canadá y EEUU presentan los más bajos precios con alrededor de 4 centavos de dólar el kWh y los países Europeos y Corea con precios promedio.

FIGURA 2
PRECIO PROMEDIO DE LA ELECTRICIDAD (RESIDENCIAL)

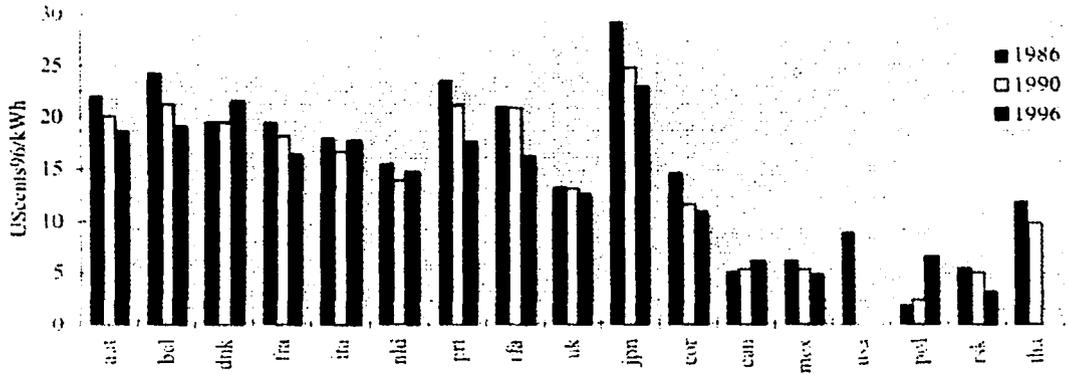


Fuente: Energy efficiency Policies an Indicator for the Tokyo Conference, WEC.1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



FIGURA 3
PRECIOS PROMEDIO DE LA ELECTRICIDAD (INDUSTRIA)



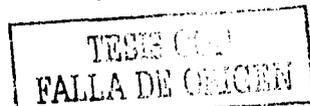
Fuente: Energy efficiency Policies an Indicator for the Tokyo Conference, WEC.1998

Se han esgrimido diversas razones para justificar la política vigente en México de proporcionar energía barata; entre otras que el país cuenta con recursos energéticos abundantes y es necesario el apoyo al desarrollo económico y social.

1.2.3 La Política de Inversión en el Sector Energético Nacional.

En los últimos años la economía mexicana ha enfrentado restricciones severas en su proceso de desarrollo. La caída en los ingresos de divisas y la insuficiente generación de ahorro interno han constituido restricciones importantes. La evolución de la industria petrolera principalmente ha influido en la manifestación de estas restricciones, principalmente al generar menos divisas y por lo tanto también ha tenido que enfrentar reducciones crecientes a su presupuesto.

Aunado a todo esto se tiene uno de los fenómenos más trascendentes que influyeron grandemente al desarrollo del sector energético que es el endeudamiento tanto interno como externo. La deuda externa tiene sus orígenes en la imperiosa necesidad de los países productores de petróleo como es el caso de nuestro país de adecuarse a las estrategias y necesidades energéticas de los países desarrollados, sobre todo en los años





setenta, donde confluyó la existencia de excedentes extranjeros en la economía internacional como característica del desarrollo interno de la política económica prevaleciente que hacia posible y necesario el recurso masivo al financiamiento externo. No obstante se han registrado algunos periodos de des-endeudamiento tanto interno como externo por parte de este sector.

La importancia del sector energético como pieza clave del desarrollo de las naciones, significa que debe tener una de las m{as altas prioridades en la asignación de recursos. Sin embargo, Este es uno de los principales problemas que enfrenta la evolución del sector energético del país, el de conciliar los requerimientos de recursos de inversión para satisfacer las necesidades futuras de energía, con restricciones presupuétales de corto plazo. (Esto se percibió en los puntos 1.2.1 y 1.2.2 ante la situación actual por la que atraviesan CFE y Pemex).

En la propuesta de Reforma Eléctrica presentada por el Gobierno Federal al Congreso de la Unión plantea la apertura del sector eléctrico con el fin de que se puedan captar cerca de 35 mil millones de pesos en los próximos cinco años mismos que servirán para sustituir al menos un 20% de la actual capacidad de producción de energía de la CFE pero que tendrían que provenir del sector privado [27].

Los requerimientos de inversión en capacidad nueva adicional son de cinco mil millones de dólares, pero con el fin de poder bajar las tarifas en el mediano plazo se necesitaría sustituir gran parte del actual parque de generación, de ahí que los requerimientos de inversión sean más altos en los primeros cinco años. Así la reforma incluiría tres pasos en la apertura, primero en generación, luego en distribución y la existencia de empresas comercializadoras. La inversión programada para este sector en el 2002 , equivale a 15 mil millones de dólares.



1.2.4 La Oferta y la Demanda Energética.

El panorama que presenta nuestro país para principios del siglo en el sector energético, también involucra el reto de encontrar alternativas energéticas y los procesos a utilizar tomando en consideración restricciones de tipo económico y ecológico que se presentan.

El balance energético nacional muestra que 60% de la energía consumida proviene del petróleo y que entre el sector transporte y el industrial, incluyendo las empresas que producen y procesan los energéticos primarios y secundarios, consumen cerca del 73% de la energía total [31]. Las crisis energéticas nos han enseñado que nuestros recursos petroleros son finitos por lo que debemos pensar utilizarlos racional y eficientemente sin descartar la diversificación energética.

Con respecto a un uso racional de los recursos, la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae), ha diseñado estrategias específicas orientadas a identificar los potenciales de ahorro y uso eficiente de energía de las empresas paraestatales (Pemex, CFE, LFC) que consumen más del 35% de la energía que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas del país.

Por ejemplo, el programa de ahorro de energía Pemex-Conae ha identificado un potencial de ahorro de energía superior al 15 % del consumo actual, en un gran número de instalaciones de la paraestatal rebasando así las metas de ahorro que son superiores a los 27 mil MWh de energía eléctrica y 12 millones de m³ en el consumo de gas natural. Al aprovechar dicho potencial, aumenta la oferta de energéticos en el país. También se han creado organismos como el Fideicomiso para el Ahorro de Energía (FIDE, creado en 1991) para promover acciones que induzcan y fomenten el ahorro de energía eléctrica en México.



En cuanto a generación de energía eléctrica, se tiene disponible actualmente múltiples opciones para sustituir a los derivados del petróleo, como la energía hidráulica, solar y eólica. En estas bases, se plantea que para el año 2010, considerando escenarios de alta demanda de energía eléctrica y baja disponibilidad de combustóleo, una capacidad instalada en México de 79,000 MW, de los cuales 24,800 serían a partir de carbón, 18,200 MW de estos operando con carbón importado, 18,500 MW a partir de energía hidráulica, 19,800 MW a partir de combustóleo, 6,300 a base de energía nuclear, 2,400 MW a base de energía geotérmica, 1,000 MW de cogeneración y fuentes no convencionales de energía y 6,200 MW a base de otros hidrocarburos como el diesel y gas [22].

La vida moderna implica una mayor demanda de energía en especial la eléctrica para el desarrollo de las actividades cotidianas y la producción de bienes y servicios. Actualmente, alrededor de 95% de la población tiene acceso al servicio eléctrico, una de las proporciones más altas del mundo y las expectativas de crecimiento en la demanda de electricidad son de por lo menos 6% anual para los próximos seis años[27]. El origen de este crecimiento acelerado se encuentra principalmente en el crecimiento económico del país concentrado en los sectores que utilizan más energía eléctrica, como la industria y el comercio, el crecimiento de la población y su estructura demográfica, y la mejora paulatina de los niveles de vida que suponen mayores consumos principalmente de electricidad.

1.3 RELACIÓN ENERGÍA Y ECONOMÍA.

La forma más simple y común de analizar la relación entre la energía y la economía es a través del cálculo del Índice de Intensidad Energética (IIE) o Intensidad Energética Nacional (IEN), esto es, la relación entre el consumo de energía y el producto interno.

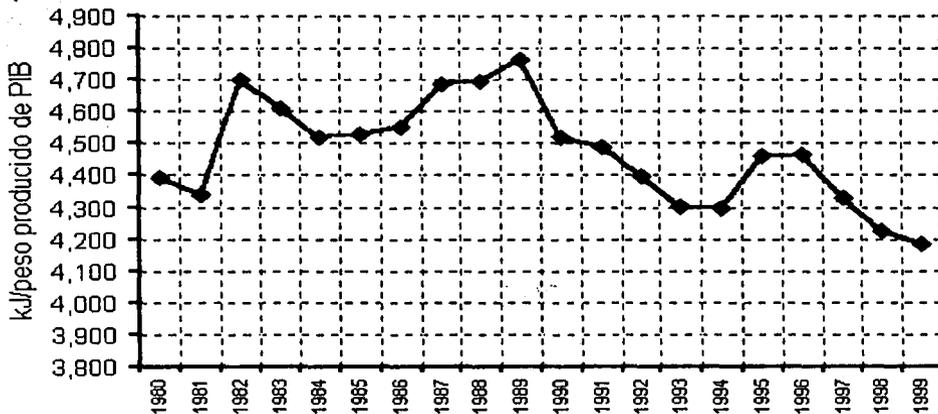


Dicho análisis se hace tanto en el ámbito internacional como en el nacional para un periodo de tiempo dado.

La Gráfica 1 presenta la evolución de IEN para el periodo de 1980 a 1999 que de acuerdo a las cifras contenidas en el balance nacional de energía en 1999 el consumo nacional de energía fue de $6.28E15$ kJ y el PIB nacional generado fue de $1.50E12$ a pesos constantes de 1993 [6]. Por lo tanto, la intensidad energética fue:

$$(6.28E15)/(1.50E12) = 4184 \text{ kJ/peso producido}$$

GRÁFICA 1
INTENSIDAD ENERGETICA NACIONAL (1980-1999)



Fuente: Balance Nacional de Energía, 1999. Secretaría de Energía.

Para poder explicar el comportamiento de la evolución de este indicador, es necesario el análisis e interpretación de las tendencias históricas del uso de la energía, así como de las actividades para las cuales fue utilizada dicha energía.



La tabla 3 presenta los IIE de 1990 a 1995 para las ramas industriales mexicanas más intensivas en el uso de energía destacando la industria petroquímica, la azucarera y la industria química.

El aumento en la cantidad de energía requerida para producir bienes y servicios, refleja la importancia relativa de sectores industriales intensivos en el uso de ésta. A pesar de que el IEN ha presentado disminuciones considerables de 1996 a 1999 (Ver Gráfica 1) debido a que el consumo de combustibles se ha mantenido prácticamente constante en los últimos años gracias a una serie de medidas adoptadas por el gobierno y sector industrial entre las que destacan: incremento en el precio de combustibles y tarifas eléctricas (reducción del subsidio federal al sector residencial), implementación del horario de verano, ampliar el servicio público de transporte, eliminar la producción de automóviles de ocho cilindros, la aplicación de normas obligatorias de eficiencia energética en equipos electrodomésticos y al esfuerzo desplegado por la industria en ahorrar energía, además de la participación de instituciones como la Conae que ha instrumentado programas sectoriales de gran alcance para el ahorro y uso eficiente de la energía en los sectores público, privado y social.

TABLA 3
ÍNDICES DE INTENSIDAD ENERGÉTICA PARA INDUSTRIAS MEXICANAS
INTENSIVAS EN EL USO DE ENERGÍA (MJ/US de 1993)

INDUSTRIA	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Siderúrgica	59.0	57.0	54.0	52.0	53.0	54.0
Petroquímica Básica	142.0	177.5	154.0	149.9	166.5	164.7
Azúcar	137.5	115.5	109.8	101.0	98.4	99.6
Química (Básica)	58.4	60.5	59.7	61.6	67.0	60.6
Cemento	51.0	50.9	50.9	48.8	44.6	51.4
Celulosa y Papel	24.4	22.3	20.4	20.4	20.5	18.4
Vidrio	19.6	18.0	18.5	19.1	17.1	15.1
Fertilizantes	42.6	38.0	37.1	60.5	57.5	44.7
Hule	4.8	4.9	4.7	4.0	4.3	4.5
Cerveza y Malta	9.5	9.4	9.0	8.7	9.3	7.6
Minería	15.7	15.5	15.2	15.3	15.1	17.0

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM, Intensidades energéticas en el sector industrial mexicano y comparaciones internacionales, noviembre de 1997.

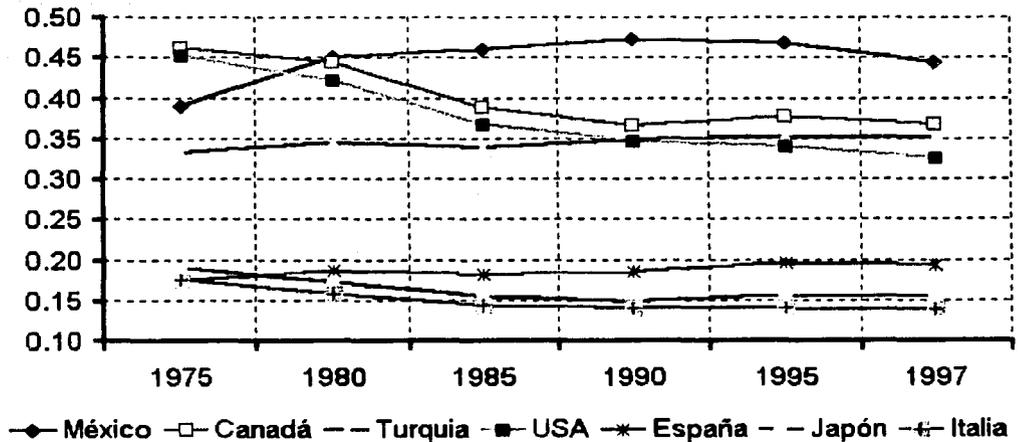


1.3.1 Eficiencia en el uso de la energía

Otro interesante aspecto de la relación consumo energético por unidad de PIB, es la eficiencia del uso de la energía y esta es mostrada en la Gráfica 2. Note que el país más eficiente energéticamente hablando es Italia y el menos eficiente México.

Esto se explica que desde el punto de vista de consumo de energía, México presenta una baja producción per cápita y un elevado uso de energía por unidad de producto. Dicho de otro modo, el país emplea demasiada energía para producir poco y se dice que esta ineficiencia energética es generalizada en todos los sectores del país como el transporte, industria y en el propio sector energético.

GRÁFICA 2
INTENSIDAD ENERGÉTICA (1975-1997)
(kpe/US, 1999)



Fuente: Balance Nacional de Energía, 1999. Secretaría de Energía



TABLA 4
CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA PRIMARIA (mtp)

PAIS	1996	1997	1998	1999
EUA	2144.8	2156.5	2169.5	2204.9
Japón	501.9	505.7	499.3	507.4
Alemania	346.0	340.3	336.6	330.9
Francia	247.4	244.1	249.2	252.4
Canadá	225.6	227.7	221.9	227.0
Gran Bretaña	227.5	222.0	225.3	222.4
Italia	155.8	157.4	161.9	165.8
México	112.2	116.6	123.8	124.6
España	100.8	108.2	114.5	119.1

Fuente: British Petroleum, Statistical Review of World Energy

Pero el consumo de los energéticos esta relacionado directamente con el uso que se les da a estos, por ejemplo, los consumos en millones de toneladas de petróleo equivalente (mmtp) para algunos países fueron los que se presentan en la tabla 4. La explicación a estas diferencias tan marcadas en sus consumos involucra muchos factores los cuales son una combinación de necesidades climatológicas, grado de desarrollo económico, abundancia de fuentes energéticas y estilos de vida, entre otros aspectos no menos importantes. Es decir, la intensidad de uso de energía se ve influida por el tipo de actividades que se desarrollan. En países en donde la industria pesada: acero, petroquímica, cemento, papel, aluminio, etc., tiene preponderancia, esta intensidad es alta. En países en que las manufacturas ligeras como aparatos eléctricos, textiles, muebles, predominan, la intensidad es menor. México ha seguido un patrón intermedio, aunque parece inclinarse por la concentración en grandes grupos de industria pesada: acero, cemento, petróleo, petroquímica, papel, minería, entre otras.

1.3.2 Estructura del balance energético

La estructura del balance de energía de un país depende de factores tales como los recursos naturales propios, las características de la demanda, el parque industrial disponible, etcétera. En el caso de México es notoria la preponderancia de los hidrocarburos en la generación de energía primaria como lo muestra la tabla 5 .



TABLA 5
CONSUMO DE COMBUSTIBLES PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y CAPACIDAD INSTALADA POR TIPO
1990-2000 (PJ Y MW)

AÑO	CARBON	URANIO	DIESEL	COMBUS TOLEO	GAS NATURAL	TOTAL	CAPACIDAD INSTALADA						
							Carboeléctrica	Núcleoelectrica	Hidroeléctrica	Geotermoelectrica	Eolo eléctrica	Termoelectrica	total
1990	76045	31054	15608	659375	143699	925781	1200	675	7805	700	-	14919	25299
1991	78469	45925	17195	665752	168887	976228	1200	675	7932	720	-	6272	26799
1992	81387	41855	12305	656444	156616	948607	1200	675	7932	730	-	16531	27068
1993	103301	53072	11727	665613	153367	987080	1900	675	8171	740	-	17718	29204
1994	128262	47781	13298	794100	180063	1163504	1900	675	9121	753	2	19198	31649
1995	140122	92986	10445	696544	185380	1125477	2250	1309	9329	753	2	19394	33037
1996	170540	85581	9534	718913	191371	1175939	2600	1309	10034	744	2	20102	34791
1997	171547	112495	13268	823131	207934	1328375	2600	1309	10034	750	2	20120	34815
1998	-	-	-	-	-	-	2600	1309	9700	750	2	20895	35256
1999	-	-	-	-	-	-	2600	1368	9619	750	2	21327	35666
2000	-	-	-	-	-	-	2600	1365	9619	857	2	21825	36265.5
Variación porcentual													
91/90	5.40	3.20	47.90	10.20	1.00	17.50	-	-	1.60	2.90	-	9.10	5.90
92/91	-2.80	3.70	-8.90	-28.40	-1.40	-7.30	-	-	-	1.40	-	1.60	1.00
93/92	4.10	26.90	26.80	-4.70	1.40	-2.10	58.30	-	3.0	1.40	-	7.20	7.90
94/93	17.90	24.20	-10.00	13.40	19.30	17.40	-	-	11.60	1.80	-	8.40	8.40
95/94	-3.30	9.20	94.60	-1.50	-1.30	3.00	18.40	93.90	2.30	-	-	1.00	4.40
96/95	4.50	21.70	-8.00	-8.70	3.20	3.20	15.60	-	7.60	-1.20	-	3.07	5.30
97/96	13.00	0.60	31.40	39.20	14.50	8.70	-	-	-	0.80	-	0.10	0.10
98/97	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	-3.33	0.00	0.00	3.85	1.27
99/98	-	-	-	-	-	-	0.00	4.50	-0.84	-0.01	10.00	2.07	1.16
00/99	-	-	-	-	-	-	0.00	-0.23	0.00	14.31	0.00	2.34	1.68

Fuente: Secretaria de Energía, con información proporcionada por CFE y LFC para informe de gobierno

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Durante el año de 1998, la estructura del balance primario y el consumo final para diversos países se muestra en la tabla 6. Si bien México cuenta con recursos petroleros, la dependencia en estos es excesiva y sujeta al país e riesgos que la mayoría de las naciones ha optado por evitar.

TABLA 6
ESTRUCTURA DEL BALANCE PRIMARIO Y CONSUMO FINAL

PAÍS	ENERGÍA PRIMARIA COMERCIAL CUYO ORIGEN SON HIDROCARBUROS (%)	PARTICIPACIÓN DE LA ELECTRICIDAD EN EL CONSUMO DE ENERGÍA COMERCIAL (%)
México	62.3	7.46
Italia	56.9	14.63
España	54.7	16.81
Japón	51.1	20.19
Alemania	40.6	15.53
Estados Unidos	38.9	14.84
Gran Bretaña	35.9	14.36
Francia	35.5	N.D
Canada	34.7	20.50

Fuente: Energy Statistical of OECD Countries, 1999

1.4 ENERGÍA Y CALIDAD DE VIDA.

Una buena calidad de vida abarca múltiples intereses que abrazan bienestar personal, salud y alimentación principalmente. Su escenario más amplio es el aspecto ambiental y social (como todos los grandes riesgos ambientales causados por el hombre, desde la contaminación hasta el crimen) y los bastos aspectos intelectuales del desarrollo humano iniciando con la educación básica, incluyendo el ejercicio de sus libertades políticas y religiosas. Entonces la calidad de vida no puede tener un indicador significativo único por tanto, la mejor manera de cuantificar la relación entre la energía consumida y la calidad de vida es indicarla inevitablemente alrededor de la subjetividad y de variables "simples". Cualquier definición sensata de una buena calidad de vida debe contar con un nivel más o menos adecuado de salud pública, alimentación, vivienda y educación como variables susceptibles de ser medidas [24].

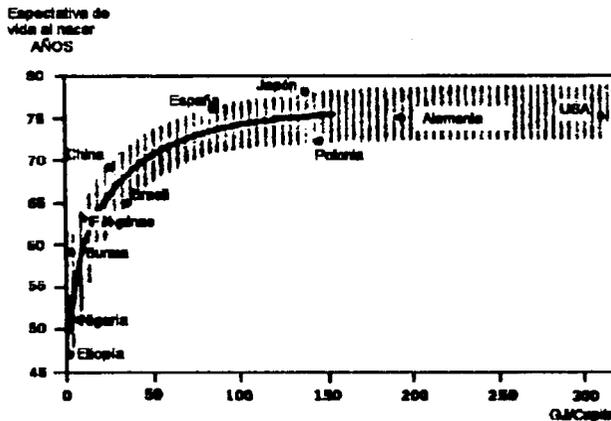


Como con la relación entre economía y energía, así, no hay ninguna duda sobre la existencia de una relación fundamental y vasta entre los niveles de uso per cápita de la energía y la calidad de vida caracterizada por estas variables (salud, educación, etc).

Consecuentemente se ha tratado de cuantificar la cantidad mínima per cápita de energía que se debe consumir para lograr una 'buena vida' que descansa en la salud con sus respectivas variables nutrición y medio ambiente, los cuales demandan grandes flujos de energía.

Con respecto a las expectativas de vida y la mortalidad infantil, se observa en la figura 4 que las expectativas de vida se incrementan a medida que se incrementa el consumo de energía per cápita anual en más de 50 GJ/ per cápita. Así mismo la Figura 5 muestra que un incremento en el consumo de energía disminuye rápidamente las cifras de mortalidad infantil consumiendo 50GJ y posteriormente permanece invariante por arriba de los 100 GJ de energía consumidos, es decir, no hay ya ganancias adicionales.

FIGURA 4
CONSUMO DE ENERGÍA v.s EXPECTATIVAS DE VIDA AL NACER



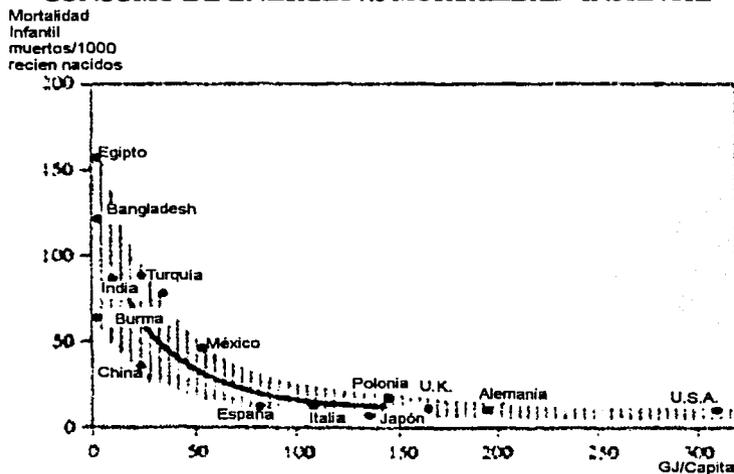
Por otro lado una efectiva distribución de alimentos proveería una adecuada nutrición en las zonas más pobres del país. Sin embargo la disponibilidad de alimentos no debe emplearse como un reflejo de bienestar, sino como un indicador de la abundancia relativa y de la variedad alimenticia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



La mínima disponibilidad per cápita que satisface las condiciones de una adecuada nutrición y una buena variedad de alimentos debe exceder los 12 MJ/día, esta cifra corresponde una vez más a un promedio de 40 a 50 GJ de consumo de energía primaria al año.

FIGURA 5
CONSUMO DE ENERGIA v.s MORTALIDAD INFANTIL



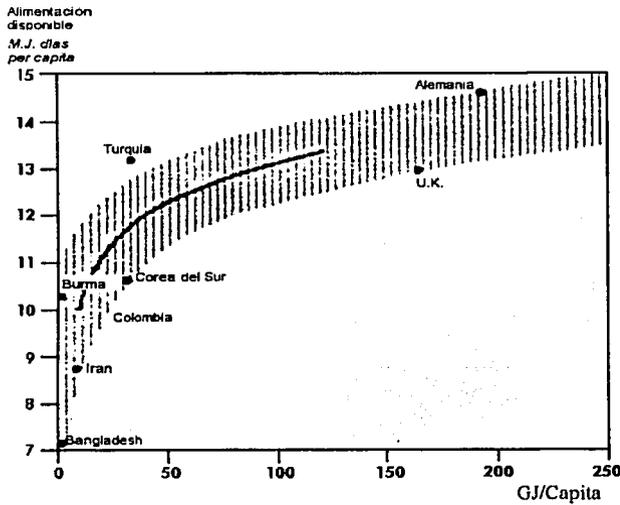
La figura 6 indica que el promedio de alimentación disponible per cápita crece a la par con el consumo de energía per cápita por arriba de los 50 GJ, no obstante, los 12 MJ/día proporcionan apenas algunos beneficios nutritivos por lo que se presenta desnutrición en la población principalmente infantil.

También las estadísticas de alfabetismo no pueden interpretarse de una forma lineal simplista, pues estas sólo refleja simplemente un grado de escolaridad general, sin emitir una diferencia cualitativa entre los individuos que aún permanecen analfabetas y aquellos que continúan con sus estudios.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

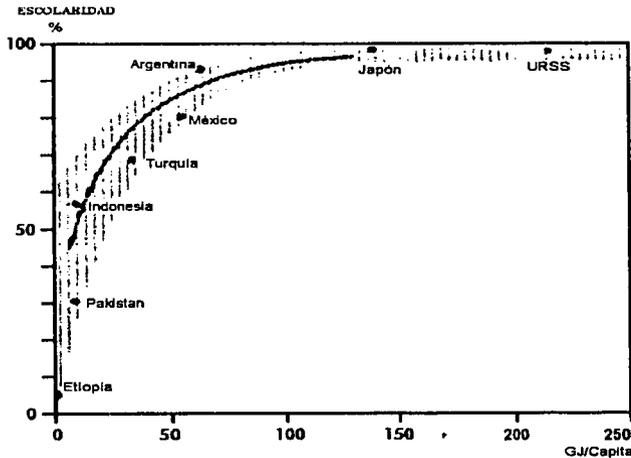


FIGURA 6
CONSUMO DE ENERGÍA v.s ALIMENTACIÓN



Quando únicamente se toman meramente como indicadores de la disponibilidad general de educación básica, estos datos presentan su punto de inflexión arriba del 80% de consumo de energía, el cual corresponde nuevamente a un consumo de energía primaria de 40 a 50 GJ/año (figura 7).

FIGURA 7
CONSUMO DE ENERGÍA v.s ESCOLARIDA



Una sociedad con un fin determinado podría garantizar así longevidad y bienestar físico favorable, alimentación variada y oportunidades decentes de educación con un consumo anual de entre 40 y 50 GJ de energía.



1.5 ENERGÍA Y ECOLOGÍA

Cada país está dotado de ciertos recursos naturales y es obvio que el desarrollo industrial se finca en la utilización de sus propios recursos. Así, en México, más del 90% de la energía primaria descansa en el petróleo. Pero el modo en el cual un país genera y consume sus energéticos tiene impacto en el medio ambiente local y global.

Varios países entre ellos México han evaluado dicho impacto ambiental causado por las emisiones generadas por la combustión incompleta de los combustibles fósiles que contribuyen al cambio climático global impulsado por el continuo aumento de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nítrico (NO_x). Al CO_2 se debe más del 60% del aumento del efecto invernadero [13], responsable del cambio climático. A lo largo del último decenio del siglo XX, las emisiones de CO_2 aumentaron a un ritmo del 1.3% al año, casi 300 millones de toneladas. Las emisiones mundiales superaron en 1999 los 24,000 millones de toneladas al año. Un factor coadyuvante es la aceleración en la destrucción de los bosques. Las pérdidas de bosques en los países en desarrollo superaron los 13 millones de hectáreas al año [25].

En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 1992 se reconoce que los países desarrollados son responsables de la mayor parte de las emisiones históricas y actuales y que estos países deben tomar la cabeza en la lucha contra el cambio climático y sus efectos adversos.

▪ Daños ambientales causados por los combustibles fósiles y por sus productos de combustión.

Las tecnologías para la extracción, transportación, procesamiento y en particular de uso final (combustión) de combustibles fósiles, tienen impactos nocivos en el medio ambiente, causando directa o indirectamente efectos negativos en la economía.



Durante la extracción, transportación y almacenamiento de petróleo y gas, ocurren derrames y fugas, las cuales causan contaminación del suelo, agua y aire. Los procesos de refinación también tienen impactos ambientales. Sin embargo, el mayor impacto ambiental de los combustibles fósiles ocurre durante su uso final. El uso final de todos los combustibles fósiles es la combustión, indistintamente del propósito final (calentamiento, producción de electricidad o en el transporte).

El principal constituyente de los combustibles fósiles es el carbono y el hidrógeno, pero también algunos otros ingredientes, que están originalmente en el combustible (ejemplo, azufre), o se adicionan durante la refinación (como alcoholes, plomo). La combustión de los combustibles fósiles produce varios gases que son liberados a la atmósfera y causan la contaminación del aire y esta a su vez causa daños a la salud humana, a los animales, a los sembradíos, a las estructuras, reduce la visibilidad, etc. Una vez en la atmósfera, son descompuestas por la luz del sol o por mezclarse con el agua y otros compuestos atmosféricos, estos contaminantes primarios pueden sufrir reacción química, cambiando su forma y llegan a ser contaminantes secundarios, como el ozono, aerosoles, varios ácidos, entre otros.

La precipitación de los óxidos de azufre y nitrógeno, los cuales se disolvieron en las nubes y en la lluvia forman ácido sulfúrico y nítrico que es la llamada lluvia ácida; también producen rocío, niebla y nieve ácida. El carbono en equilibrio con el agua produce un débil ácido carbónico. El ácido depositado (húmedo o seco) causa manchas y acidificación del agua, resultando en daños a los ecosistemas terrestres y acuáticos, afectando a los humanos, animales, la vegetación y a las estructuras.



Los productos remanentes de combustión en la atmósfera, principalmente CO₂ junto con otros gases llamados de efecto invernadero (GEI's) como el metano, los óxidos de nitrógeno y los clorofluorocarbonos, resultando en un cambio térmico por la absorción de energía infrarroja que la tierra irradia en la atmósfera, y por reemisión de algunas superficies de la tierra, causando un incremento en la temperatura global.

Los efectos del incremento de temperatura son descongelamiento de las capas de hielo, elevación del nivel del mar y cambio climático, el cual incluye calentamiento de las corrientes marinas, sequías, inundaciones, fuertes tormentas (huracanes), mayores incendios forestales.

Empleando los estudios de científicos ambientalistas, el daño mencionado arriba ha sido calculado para cada uno de los combustibles fósiles. La tabla 7 presenta los resultados de cada tipo de daño, en dólares de 1998. Puede observarse que el daño ambiental causado por el uso de carbón en 1998 es \$14.51 por GJ consumido; para el petróleo en 1998, \$12.52 por GJ de petróleo consumido; para el gas natural fue de \$8.26 por GJ consumido, y el daño ponderado para el mundo es \$12.05 por GJ de combustibles fósiles consumidos. El costo de estos daños no está incluido en los precios de los combustibles fósiles, pero son pagados por la gente, directa o indirectamente, a través de impuestos, gastos en la salud, primas de seguros, y por medio de una reducida calidad de vida [35].



TABLA 7

DAÑOS AMBIENTALES CAUSADOS POR LOS COMBUSTIBLES FOSILES

TIPO DE DAÑOS	DAÑOS AMBIENTALES 1998 \$US POR GJ					
	Carbón		Petróleo		Gas natural	
	Daños	Sub-total	Daños	Sub-total	Daños	Sub-total
Efectos en los humanos		5.16		4.19		3.09
Muerte prematura	1.75		1.42		1.05	
Gastos médicos	1.75		1.42		1.05	
Perdida de eficiencia en el trabajo	1.66		1.35		0.99	
Efectos en los animales		0.75		0.63		0.45
Pérdidas de especies domésticas	0.25		0.21		0.15	
Pérdidas de especies silvestres	0.50		0.42		0.30	
Efectos en vegetación y bosques		1.99		1.61		1.20
Reducción de las cosechas -ozono	0.25		0.21		0.15	
Reducc. de las cosechas -lluvia ácida	0.13		0.10		0.07	
Efectos en la flora silvestre (plantas)	0.77		0.62		0.46	
Deterioro de los bosques (valor económico)	0.27		0.22		0.16	
Deterioro de los bosques (efectos en la diversidad biológica)	0.53		0.43		0.33	
Pérdidas de espacios recreativos	0.04		0.03		0.03	
Efectos en ecosistemas acuáticos		0.26		1.55		0.16
Derrames de petróleo		0.26		1.55		0.16
Fugas de raques bajo el agua			0.90			
Lagos	0.04		0.03		0.03	
Perdida de poblaciones de peces	0.04		0.03		0.03	
Efectos en la diversidad biológica	0.18		0.15		0.10	
Efectos en las estructuras de los edificios		1.66		1.34		0.983
Deterioro de monumentos y edificios históricos	0.18		0.15		0.10	
Deterioro de edificios y casas	0.37		0.30		0.22	
Corrosión en estructuras de acero	0.99		0.80		0.59	
Manchas en la ropa, automóviles, etc.	0.12		0.09		0.07	
Otros costos de contaminación del aire		1.45		1.16		0.88
Reducción de la visibilidad	0.30		0.23		0.18	
Abatimiento de costos por aire contaminado.	1.15		0.93		0.70	
Efectos de la explotación de minas		0.73				
Efectos del cambio climático		2.04		1.66		1.22
Ondas cálidas -efectos en los humanos						
Sequías						
Perdidas en la agricultura	0.16		0.13		0.10	
Perdidas ganaderas	0.13		0.10		0.07	
Perdidas forestales	0.16		0.13		0.10	
Perdidas de flora y fauna silvestres	0.93		0.75		0.56	
Escasez de agua y problemas de generación de energía	0.25		0.21		0.15	
Inundaciones	0.07		0.06		0.04	
Tormentas, huracanes, tornados	0.07		0.06		0.04	
Efectos en incrementos del nivel del mar		0.47		0.38		0.28
Totales		14.51		12.52		8.26

Fuente: Apermanent Solution to Global Problems, 1998.



La evaluación de estos impactos son muy importantes para cualquier país especialmente en desarrollo como lo es México ya que se requiere de un crecimiento acelerado de la economía y al mismo tiempo redefinir las estructuras de generación y consumo de la energía.

Nuestro país no se ve libre de este problema pues también enfrenta graves problemas de deterioro del medio ambiente causados por un inadecuado programa de política ambiental, por el uso irracional de los hidrocarburos y de los combustibles derivados del petróleo, una magra utilización de fuentes de energía nuevas y limpias y escasez de tecnologías eficientes en el uso de la energía.

Por lo que México se ha visto en la necesidad de tomar acciones firmes para minimizar los efectos de deterioro ambiental surgiendo así instituciones gubernamentales, sociales, privadas y educativas orientadas a hacer frente a este gran reto. De entre las instituciones y sus acciones destacan:

- *Procuraduría Federal de Protección Ambiental* (dependencia de la SEMARNAT) realiza visitas de inspección a establecimientos industriales (263 mil establecimientos) y de servicios (180 mil) considerados como las fuentes potenciales más contaminantes de jurisdicción federal. Esto ha permitido observar un avance en el cumplimiento de la normatividad ambiental por dichos establecimientos al pasar la fracción de fuentes encontradas sin infracciones a la normatividad de un promedio de 17.8% en el periodo agosto 1992-1994 al 23% en el periodo 1995-2000. Así mismo el porcentaje de establecimientos encontrados con infracciones graves pasó de 9.7% al 1.8%, respectivamente.

En la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM) se redujo de 319,500 toneladas de contaminantes del aire emitidos por las fuentes fijas de jurisdicción federal durante 1992 a 110,000 toneladas en 1999.



El procedimiento administrativo de verificación de las fuentes contaminantes tiene por objeto identificar irregularidades, dictar medidas correctivas e imponer sanciones, estas últimas de acuerdo a la gravedad y riesgo para los ecosistemas o para la salud pública.

- *Los programas Pemex-Conae* sobre ahorro de energía han impactado de manera favorable en el cuidado y conservación del medio ambiente, debido a la reducción de emisiones contaminantes por los procesos térmicos (quema de combustibles fósiles) en la generación de energía. Hasta el año 2000, Petróleos Mexicanos ha presentado reducciones en el consumo de agua industrial en 12 millones de m³/año (equivalente al consumo de 76 mil familias en un año) y reducciones en emisiones contaminantes de 24 mil toneladas al año de CO₂ y 110 toneladas al año de óxidos de nitrógeno (NO_x).

Pemex ha dotado de GN a la CFE con el objeto de reducir el dióxido de azufre en la ZMVM.

- *El Instituto Mexicano del Petróleo* desarrolló los Laboratorios de Investigación en Emisiones Vehiculares y Ensayo de Motores con el fin de afrontar los problemas surgidos por el uso de combustibles y su impacto en el medio ambiente y en las industrias del petróleo y automotriz.

Además de que México ha ratificado acuerdos internacionales como el Protocolo de Kyoto (Aprobado en 1997 en el tercer periodo de sesiones de la Conferencia de las Partes sobre el cambio climático) en el cual se compromete en luchar contra el cambio climático reduciendo sus emisiones de GEI, además de sensibilizar al público. Una de las formas de cumplir con los objetivos de dicho protocolo entraña la utilización de fuentes de energía nuevas y limpias.



CONCLUSIÓN

México como país en proceso de desarrollo se enfrenta a graves problemas en su sector energético ocasionados por políticas energéticas poco eficientes, recortes presupuestales para equipar de tecnología a las plantas existentes, ausencia de apoyo para el fomento de la diversificación energética y una inadecuada planeación de la explotación, procesamiento y uso de los combustibles en especial de los derivados del petróleo entre otros. Todos estos factores provocaron y siguen provocando el rezago de dicho sector que a su vez influye en otros sectores clave para el desarrollo del país como es el económico, el industrial, el social ya que limita su acción pues la energía y en especial la eléctrica es vital para el desarrollo de las actividades del país, sin olvidar los no menos trascendentes problemas sociales como pobreza, analfabetismo, desnutrición, falta de alumbrado en comunidades especialmente las rurales que se encuentran alejadas de las redes de suministro eléctrico y los graves problemas de contaminación ambiental por quema indiscriminada de combustibles fósiles limitando así el desarrollo sustentable del país.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



2. POTENCIAL DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS DE MÉXICO Y EL MUNDO

En este capítulo se describe la variedad de recursos energéticos, en particular los renovables –biomasa, eólica, geotérmica, solar y otros nuevos sistemas basados en el agua como la hidroenergía aprovechando la energía de los océanos. También se hace referencia de la disponibilidad de estos recursos a nivel mundial y en lo particular del país, sus usos y aplicaciones actuales, la tecnología desarrollada para su aprovechamiento, así como las ventajas y desventajas que presentan los recursos y la tecnología empleada para su transformación en energía eléctrica que en esta tesis es nuestro punto a tratar.

Como aquí veremos, México cuenta con bastos recursos energéticos lo que lo sitúa como un país autosuficiente energéticamente pues dispone de grandes reservas probadas de yacimientos petroleros, gas natural, yacimientos de carbón y uranio, calor endógeno de la tierra como yacimientos geotérmicos y aguas termales; bioenergía que comprende leña, desechos vegetales, desechos animales, cultivos y desechos urbanos; hidroenergía como ríos y océanos entre las que destacan las mareas, olas, corrientes y gradientes térmicos; radiación solar y viento entre otros recursos no menos importantes.



2.1 RECURSOS ENERGÉTICOS

Una de las formas de clasificar a los recursos energéticos es:

1. No renovables.

Energía que no es capaz de regenerarse:

Carbón	Hidrocarburos
Fisión	Nuclear
Fusión	Petróleo
Gas Natural	

2. Renovables.

Flujo de energía que ocurre en forma natural y repetida en el ambiente:

Biomasa	Hidroenergía
Eólica	Mareomotriz
Geotermia	Solar

2.1.1 Energía de la Biomasa

El término "biomasa" significa cualquier derivado de materia orgánica disponible sobre una base renovable, incluyendo árboles y cosechas dedicadas para producir energía, los residuos y desechos de cosecha agrícolas (pasto, follaje, inclusive los granos), residuos y desechos de madera, plantas acuáticas, desechos animales, residuos urbanos, y otros materiales de desecho. Genéricamente las fuentes de biomasa se pueden clasificar como fuentes primarias (recursos forestales) y fuentes secundarias (básicamente los residuos como aserrín, residuos de las hojas de árboles, los agrícolas, pajas y desechos urbanos).



▪ **Potencial del recurso a escala mundial.**

Es difícil cuantificar con exactitud la disponibilidad de este recurso ya que en muchos países no existen estudios adecuados aunque puede hacerse un cálculo aproximado de estos a través de las cosechas y bosques existentes, el potencial de energía de estas se cuantifica rara vez basándose en las tecnologías de conversión disponibles.

La biomasa es la cuarta fuente más grande de energía del mundo y tiene una potencialidad que excede el consumo actual de energía mundial. Esta disponible en la mayoría de los países y representa un recurso valioso para mucha gente especialmente indígena, principalmente en los países en desarrollo [16].

▪ **Potencial del recurso en México**

La cuantificación del recurso de la biomasa como se menciona es una tarea complicada y no existen en México datos precisos del potencial de este recurso, no obstante hay un amplio potencial de aprovechamiento de las diversas formas de biomasa. Las comunidades aisladas del país, satisfacen la mayor parte de sus necesidades energéticas con biomasa. Se estima que la leña provee cerca del 75% de la energía en los hogares de comunidades rurales. En el sector agroindustrial, específicamente la industria azucarera, se ha establecido un potencial de generación de electricidad, a partir del bagazo de caña, superior a 3000 GWh al año. Las estadísticas que presenta anualmente el balance nacional de energía (donde se consignan las cantidades consumidas de leña y bagazo), se estimó que el consumo anual de los particulares fue de 87,820 TJ de bagazo y 247,400 TJ de leña, dando un total de 335,220 TJ [6].

▪ **Usos y aplicaciones**

La biomasa es ya en muchos países el principal recurso renovable de energía (más de 7,000 MW de la electricidad producida en los EEUU fue a partir de biomasa), quemando principalmente desechos generados por la agricultura y las industrias que procesan madera.



Imagen 1: Tecnología para cosechas energéticas

Los sistemas de gasificación son una nueva forma de generar electricidad a partir de la biomasa. Estos sistemas usan temperaturas altas y un tragador de oxígeno ambiental convierte la biomasa directamente en gas. El gas se quema en una turbina, que hace girar a un generador eléctrico. El deterioro de la biomasa en basureros urbanos produce gas (principalmente metano) de forma natural, que puede ser captado y



Imagen 2: La biomasa que iría a la basura puede quemarse en una planta de generación eléctrica

Esta se queman para producir vapor el cual se usa para hacer girar una turbina. El giro de la turbina activa un generador, que produce electricidad. Muchas plantas de energía que queman carbón agregan biomasa a su proceso para reducir las emisiones producidas de la quema de carbón.

quemado en una caldera para producir vapor y generar electricidad. En las casas frecuentemente queman madera para calentar sus hogares, mientras que las industrias usan biomasa en sus procesos de calentamiento y para producir electricidad. Además de usarse para generar electricidad y calor, la biomasa puede usarse para producir combustibles para el transporte como etanol.



La producción de electricidad a partir de la biomasa es muy eficiente y de costo mínimo si las plantas de generación de energía de la biomasa son ubicadas cerca de las fuentes de biomasa. El uso futuro de las cosechas puede incrementar la disponibilidad de recurso en todas las regiones con actividad agrícola.

▪ **Tecnología**

Bioenergía

Con la tecnología de la bioenergía se prueban opciones de generación de electricidad en los EEUU, con 10 GWh de capacidad instalada. Toda la capacidad actual es basada en la tecnología de combustión directa. Los futuros mejoramientos en cuanto a eficiencia incluirán la combustión de biomasa y carbón en calderas y la introducción de alta eficiencia de gasificación en sistemas de ciclo combinado, sistemas de celdas de combustible, y sistemas modulares.

Biocombustibles

Una gran variedad de combustibles puede obtenerse de los recursos de la biomasa, incluyendo los combustibles como el etanol líquido, metanol, biodiesel, diesel de Fischer-Tropsch, y combustibles gaseosos tal como hidrógeno y metano.

La investigación y desarrollo de biocombustibles se compone de tres áreas principales: la producción de los combustibles, encontrar aplicaciones y usos de los combustibles, y crear una infraestructura de distribución.

Químicos y materiales basados en biomasa

Los productos químicos y materiales basados en biomasa incluyen químicos verdes, plástico renovables, fibras naturales, y materiales estructurales naturales. Muchos de estos productos pueden reemplazar a los productos y materiales tradicionales derivados de la petroquímica, pero se requieren nuevas y mejores tecnologías.



- **Ventajas**
 - Abundantes recursos forestales
 - Los desechos de las urbes son abundantes

- **Desventajas**
 - Contaminantes como dioxinas y cloro, son liberados durante la combustión directa de biomasa, especialmente en el caso de los desechos sólidos urbanos.

2.1.2 Carbón

- **Potencialidad del recurso a escala mundial.**

Las reservas mundiales de carbón a finales de 1999 se estimaron en 984,211 millones de toneladas de petróleo equivalente (mmtpe).

TABLA 8
RESERVAS MUNDIALES DE CARBON (mmtpe)

REGIÓN	Antracita y bituminoso	Sub-bituminoso y lignito	TOTAL
América del Norte	116707	139770	256477
Sur y Centro América	7839	13735	21574
Europa	41664	80368	122032
África y Medio Oriente	61355	250	61605
Asia	184450	107895	292345
Total mundial	509491	474720	984211

Fuente: British Petroleum Statistical Review of World Energy

- **Potencialidad del recurso en México**

Los trabajos de exploración de carbón térmico dieron evidencia de la existencia del mineral localizado particularmente en la cuenca de Fuentes de Río Escondido, en las cercanías de Piedras Negras, Coahuila. Las reservas probadas de carbón del tipo antracita y bituminoso para México en 1999 fueron de 860 mmtpe y de 351 mmtpe de sub-bituminoso y lignito dando un total de 1211 mmtpe [37].



▪ Usos y aplicaciones

El carbón de coque nativo es consumido por la industria de acero y el hierro y todo el carbón no coquizable se usa como combustible en estaciones de potencia. El carbón térmico se emplea en centrales carboeléctricas para generar electricidad.

▪ Tecnología

La generación de energía eléctrica a partir del uso del carbón como combustible en centrales carboeléctricas.

▪ Ventajas

- Explotación del mineral a bajos costo

▪ Desventajas

- En general, la calidad del carbón de la cuenca de Fuentes de Río Escondido es baja ya que tiene un alto porcentaje de cenizas, lo que implica una dificultad mayor tanto en su producción como en su manejo. Dependiendo del tipo de producción y del espesor de los mantos, el contenido promedio de cenizas que se obtienen es de alrededor de 42%, por lo que se puede decir que es un producto bastante sucio.
- México posee moderados recursos de carbón térmico que es el empleado en las centrales carboeléctricas.

2.1.3 Energía Eólica

Los vientos ocurren cuando la radiación solar llega a la superficie altamente irregular de la tierra e interactúa con los océanos, continentes y la atmósfera produciendo diferencias de temperatura, densidad y presión, generándose así los vientos. La energía de los vientos es conocida como energía eólica.



Aproximadamente el 2% del calor total que llega del sol a la tierra por radiación se transforma en viento, pero solo una fracción muy pequeña puede ser aprovechada ya que buena parte de estos vientos ocurre a grandes alturas o en los océanos.

▪ **Potencial del recurso a escala mundial.**

La velocidad media del viento y su frecuencia de distribución tienen que ser tomadas en cuenta para calcular la cantidad de electricidad que puede ser producida por las turbinas de viento en cierta región. La tabla 9 muestra la clasificación de los recursos de viento de acuerdo con el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DEUS).

**TABLA 9
CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS DEL VIENTO**

CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA DEL VIENTO	DENSIDAD DE LA ENERGÍA DEL VIENTO A 10m, W/m ²	VELOCIDAD DEL VIENTO A 10m, m/s	DENSIDAD DE LA ENERGÍA DEL VIENTO A 50m, W/m ²	VELOCIDAD DEL VIENTO A 50m, m/s
1	0-100	0-4.4	0-200	0-5.6
2	100-150	4.4-5.1	200-300	5.6-6.4
3	150-200	5.1-5.6	300-400	6.4-7.0
4	200-250	5.6-6.0	400-500	7.0-7.5
5	250-300	6.0-6.4	500-600	7.5-8.0
6	300-400	6.4-7.0	600-800	8.0-8.8
7	400-1000	7.0-9.4	800-2000	8.8-11.9

Fuente: Elliott, 1986 (Datos retomados por la WEC en 1999)

Los recursos del viento pueden ser explotados principalmente en áreas donde la densidad de la energía del viento es por lo menos de 400 W/m² a 30 m sobre el nivel del piso (o cercanos a 500 W/m² a 50 m), correspondiendo a la clase 5 de los recursos de viento o mayores para Estados Unidos (US). Suponiendo que continúe los avances técnicos abriendo nuevas áreas de desarrollo. La evaluación siguiente incluye las regiones donde la densidad promedio anual de la energía del viento excede el rango de 200 a 300 W/m² a 50 m. Este corresponde a la clase 3 o mayor en el atlas de viento de US [23].



El potencial total de la energía producida usando viento ha sido analizada en varios estudios. Grubb y Meyer (1993) estimaron el potencial teórico de los recursos globales de viento de clase 3 (para generar energía eléctrica) y cercanos al orden de los 500,000 TWh/año.

En su evaluación de 1994, la WEC estimo el potencial teórico global del viento en el orden de 480,000 TWh/año basado en la siguiente suposición: Globalmente cerca de $3 \cdot 10^7$ km² o 27% de la superficie de la tierra de $107 \cdot 10^6$ km² es expuesto a una velocidad media anual del viento de 5.1 m/s a 10 m sobre el suelo (clase 3 y mayores).

Si fuera posible usar estas áreas para la instalación de granjas de viento teniendo una capacidad de generación de 8 MW/km². Con un conjunto 240 TW de capacidad instalada en turbinas de viento puede generarse 240 TW*2,000 TWh/(por TW instalado al año) es decir, 480,000 TWh/año.

La tabla 10 resume la estimación del potencial de electricidad del viento (recursos clase 3 y mayores) por región. De acuerdo a la tabla 10 solo cerca del 10% del potencial teórico del viento mundial puede ser captado de forma natural. La WEC también sugiere una estimación más conservadora, dado que para razones prácticas solo se tiene un 4% de área expuesta a velocidades de viento de 5.1 m/s que pueden ser aprovechado para instalar granjas de viento. Este 4% es derivado de estudios detallados del potencial de energía del viento en los Países Bajos y en EEUU. Si las turbinas de viento tienen un rendimiento de 2,000 MWh/MW instalado al año, el potencial global de producción de energía del viento en la costa es estimado en unos 20,000 TWh/año. Esta estimación es 2.5 veces menor que la evaluación de Grubb y Mayer (1993). La distribución regional de este potencial es presentado en la tabla 11.



TABLA 10
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA DEL VIENTO.
(RECURSOS CLASE 3 Y MAYORES)

REGIÓN	% ÁREA DE TERRENO	DENSIDAD POBLACION CAP/km ²	POTENCIAL ELÉCTRICO 10 ³ TWh/AÑO	POTENCIAL DE ENERGÍA DEL VIENTO	ESTIMACIÓN POTENCIAL DE SEGUNDO ORDEN	POTENCIAL DE LA ENERGÍA DEL VIENTO, EJ/AÑO
África	24	20	106	1,272	10.6	127
Australia	17	2	30	360	3	36
Norte A.	35	15	139	1,670	14	168
A. Latina	18	15	54	648	5.4	65
O. Europa	42	102	30	377	4.8	58
E. Europa y FSU ¹	29	13	106	1,272	10.6	127
Resto de Asia	9	100	32	384	4.9	59
Total ²⁾	23		500	6,000	53	640

Fuente: Grubb y Meyer(1993). Datos retomados por la OECD, "Energy Resources", 1999

¹⁾Totales redondeados

Nota: La energía equivalente en TWh es calculada en base al potencial de generación eléctrica de la fuente de referencia dividiendo el potencial de generación eléctrica por un factor de 0.3 (un valor representativo por la eficiencia de las turbinas de viento incluyendo bajas transmisiones) resultando en un estimado de energía primaria

TABLA 11
ESTIMACIONES DE LOS RECURSOS DE ENERGÍA DE VIENTO POR REGIONES
DEL MUNDO.

REGIÓN	SUPERFICIE DE TERRENO CON VIENTO CLASE 3-7		ENERGÍA DEL VIENTO SIN RESTRICCIONES DE TERRENO		ENERGÍA DE VIENTO SI SE USA MENOS DE 4% DE TIERRA.	
	%	10 ³ km ²	10 ³ TWh/año	EJ/año*	10 ³ TWh/año	EJ/año*
N. América	41	7,876	126	1,512	5.0	60
LA y el Caribe	18	3,310	53	636	2.1	25
O. de Europa	42	1,968	31	372	1.3	16
E. de Europa y CIS	29	6,783	109	1,308	4.3	52
Medio oriente y N África	32	2,566	41	492	1.6	19
D. Sahara y África	30	2,209	35	420	1.4	17
Pacífico	20	4,188	67	804	2.7	32
China	11	1,056	17	204	0.7	8
Asia Central y Sur	6	243	4	48	0.2	2
Total**	27	30,200	483	5,800	18.7	231

Fuente: WEC (1994)

Notas: * Calculado como se describió en la nota de la tabla 10

** El total excluye datos para China.



▪ **Potencial del recurso en México**

Se estima que el potencial eoloelectrico técnicamente aprovechable en México alcanza los 5000 MW, lo que equivale a 14% de la capacidad total de generación eléctrica instalada actualmente en el país.

El conocimiento del recurso energético eólico en México está a nivel exploratorio y de reconocimiento, sin embargo, las mediciones puntuales o de pequeñas redes anemométricas, realizadas principalmente por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) y algunas otras entidades o empresas, han servido para confirmar a nivel de prefactibilidad, la existencia de vientos técnicamente aprovechables y económicamente viables en las siguientes regiones [6]:

Sur del Istmo de Tehuantepec.

Esta región contiene un área del orden de 1000 km² expuesta a vientos muy intensos, dado un fenómeno monzónico entre el Golfo de México y el Golfo de Tehuantepec, donde aflora una corriente marina anormalmente caliente, originando un gradiente térmico y de presión que da lugar a un intenso viento del norte desde el otoño hasta la primavera. Esta región, considerando la infraestructura eléctrica existente y otros usos del suelo podría asimilar una capacidad instalada del orden de los 2000 a 3000 MW, con un factor de planta medio de 0.45. En las zonas más propicias, con factores de planta del 0.6 anual y de 0.9 o más en el otoño e invierno. En las inmediaciones del poblado de La Venta, Oaxaca, se instaló en 1994 la primera minicentral eoloelectrica en México, con una capacidad de 1,575 kW, constituida por siete aerogeneradores de 225 kW.

Península de Baja California.

Esta península es interesante eoloenergéticamente, por varias razones, su extensión geográfica, su baja densidad poblacional y eléctricamente alimentada por sistemas aislados, cuando eólicamente es una barrera natural perpendicular a los vientos occidentales, que en sus montañas e innumerables pasos puede proporcionar muchos



sitios con potencial explotable. El poblado de la Rumorosa y zonas aledañas, así como el paso entre la Sierra de Juárez y la Sierra de San Pedro Mártir, por donde cruza la carretera y la línea eléctrica de Ensenada a San Felipe en el Golfo de California, son regiones identificadas con alto potencial eólico, que son indicativas de lo que puede encontrarse en muchos otros lugares de la península.

Península de Yucatán.

La franca exposición de la península a los vientos alisios de primavera y verano, incrementados en su costa oriental por la brisa marina, y a los nortes en el invierno, hacen de Cabo Catoche, la costa de Quintana Roo y el oriente de Cozumel, zonas con potencial eólico interesante, para contribuir significativamente a los requerimientos de la península en apoyo de su generación termoeléctrica.

Altiplano Norte.

Desde la región central de Zacatecas a la frontera con los Estados Unidos, el norte del país se ve influenciado por la corriente de chorro de octubre a marzo, intensa y persistente, que como viento del poniente al impactar la Sierra Madre Occidental da lugar a innumerables sitios con potencial explotable. En la parte norte del estado de Coahuila existen áreas sumamente ventosas.

Región Central.

En la región central del altiplano, prevalecen los vientos alisios de verano, desde Tlaxcala a Guanajuato, que en Pachuca, la bella airosa, son más conocidos. Estos vientos complementan estacionalmente, a los del altiplano norte y los del sur del Istmo de Tehuantepec. La complejidad orográfica de esta región, debe dar lugar a la existencia de innumerables pasos y mesetas donde el viento sea energéticamente aprovechable.



Las costas del país.

El extenso litoral mexicano y sus islas, presenta por lo menos condiciones para generación eléctrica en pequeña escala y almacenamiento en baterías, sistemas híbridos diesel-cólicos y en otra generación interconectada.

- **Usos y Aplicaciones**

Como se usa la energía del viento

La energía del viento o energía cólica está basada en aprovechar un flujo dinámico de duración cambiante y con desplazamiento horizontal. La cantidad de energía obtenida es proporcional al cubo de la velocidad del viento, lo que muestra la importancia de este factor.

Una de las formas de aprovechar la energía del viento es convertirla en energía eléctrica a través del empleo de una aeroturbina (turbinas de viento).

Como trabajan las turbinas de viento

Las turbinas de viento operan sobre un principio simple. La energía del viento hace girar las aspas de la turbina que a su vez hace girar al rotor. El rotor se conecta al eje principal, que hace girar un generador. Cuando el viento sopla, se forma una bolsa de aire de baja presión a favor del viento del lado del aspa. Las bolsas de aire de baja presión empujan las aspas, ocasionando que de vueltas el rotor. Esto es llamado elevación. La fuerza de elevación es realmente mucho más potente que la fuerza del viento en contraste con el lado frontal del aspa, que se llama draga. La combinación de elevación y la draga es lo que ocasiona que el rotor gire.

Las turbinas de viento se montan sobre una torre para capturar la mayor energía. A 30 m o más sobre el nivel del piso, para aprovechar la mayor rapidez y menor turbulencia del viento.



Imagen 3: Un gran número de turbinas de viento pueden conformar una planta de generación de energía del viento (Planta Eoloenergética)

Las turbinas de viento son empleadas para generar electricidad ya sea para abastecer a comunidades que se encuentran alejadas de la red de suministro o para conectarse a una red de energía eléctrica. Con respecto a pequeñas turbinas de viento (aproximadamente de 50 kW) son especialmente útiles en áreas remotas sin acceso a la electricidad, para el bombear agua o para electrificar hogares, granjas, ranchos, desempeña tareas mecánicas y cargar las baterías o generar electricidad para pequeñas redes eléctricas.

Además un gran número de turbinas de viento (por ejemplo de 50 kW) pueden interconectarse y conectarse a la red de servicio eléctrico para conformar una central eólica para una distribución de forma más general. También pueden ser combinadas con otras tecnologías de energía renovables como los paneles fotovoltaicos, baterías, y generadores de diesel.

Usos futuros

La generación eoloeléctrica en gran escala de las regiones costeras se pretende aplicar a la producción de hidrógeno para centrales de turbotogas, lo que constituirá una de las principales aplicaciones a mediados de este siglo.



▪ Tecnología

Un sistema conversor de energía eólica se compone de tres partes principales: (i) el rotor, que convierte la energía cinética del viento en un movimiento rotatorio en la flecha principal del sistema; (ii) un sistema de transmisión, que acopla esta potencia mecánica de rotación de acuerdo con el tipo de aplicación, es decir, si se trata de bombeo de agua el sistema se denomina aerobomba, si acciona un dispositivo mecánico se denomina aeromotor y si se trata de un generador eléctrico se denomina aerogenerador.

Las turbinas de viento se dividen en dos categorías importantes: las turbinas de eje horizontal y turbinas de eje vertical.

Las turbinas de eje horizontal (HAWT)

Las turbinas de eje horizontal son la configuración de turbina de uso más común. Esta formado por las aspas y la maza central en donde se fijan éstas y se unen a la flecha principal; el rotor puede tener una o más aspas; el generador, el controlador, y otros componentes. Un rotor pequeño, de dos aspas, trabaja a 900 rpm, en tanto que uno grande, de tres aspas y 56 m de diámetro, lo hace a 32 rpm. El rotor horizontal de tres aspas es el más usado en los aerogeneradores, para producir electricidad trifásica conectada a los sistemas eléctricos de las empresas suministradoras.

En la actualidad la aplicación más importante de este tipo de sistemas es en la generación de electricidad. Los aerogeneradores comerciales alcanzan entre los 500 hasta los 1,000 kW de potencia nominal, tienen rotores de entre 40 y 60 m de diámetro y giran con velocidades que van de las 30 a las 60 rpm.

La torre que soporta al aerogenerador de eje horizontal es importante, ya que la potencia del viento es función del cubo de su velocidad y el viento sopla más fuerte



entre mayor es la distancia del suelo; por ello, el eje del rotor se sitúa por lo menos a 10 m en aerogeneradores pequeños y hasta 50 o 60 m del suelo, en las máquinas de 1000 kW. En un aerogenerador de 500 kW son típicas las torres de 40 m de altura, y estas torres pueden ser de dos tipos: La tubular, recomendada en áreas costeras, húmedas y salinas, y la estructural o reticular, propia de regiones secas y poca contaminación atmosférica, por ser más baratas y fáciles de levantar.

Las turbinas de eje vertical (VAWT)

Las turbinas de eje vertical presentan dos categorías importantes: Darrieus y Savonius. Ningún tipo de turbina de este tipo se emplea ampliamente hoy.

- Turbinas Darrieus

La turbina Darrieus se inventó en Francia en 1920. Con aspecto semejante a una batidora, esta turbina de eje vertical tiene aspas verticales que rotan hacia dentro y hacia fuera del viento. Usan elevación aerodinámica, estas turbinas pueden capturar más energía que los dispositivos de rastreo. La turbina Giromill y la ciclo-turbina son variantes de la turbina Darrieus.

- Turbinas Savonius

Inventada en Finlandia, la turbina Savonius tiene forma de S si se observa desde arriba. Esta VAWT de tipo rastreo es de giros relativamente lentos, pero rinde un alto troqué. Es útil para moler grano, bombear agua, y muchas otras tareas, pero su velocidad giratoria lenta no es favorable para generar electricidad.

Los Molinos

Los molinos han sido usados por los hombres desde la antigüedad para moler grano y bombear agua. Por 1900, los molinos se usaron en granjas, bombear agua y, luego, para producir electricidad. Los molinos tienen más aspas que las turbinas modernas de viento.



Los desarrollos tecnológicos alrededor de los materiales buscan que estos permitan estructuras más esbeltas y ligeras, más resistentes a la oxidación y la corrosión, y más fuertes a la vez, así como mejorar los súper magnetos en los generadores, permitirán desarrollar nuevos conceptos más confiables y económicos, desde unidades de decenas de watts hasta grandes aerogeneradores de potencia, trabajando a régimen de velocidad variable, aprovechando mejor la energía del viento.

▪ **Ventajas**

- Gratis, limpia y renovable. No se tiene que pagar por combustible.
- En el empleo de la tecnología eólica para la generación de energía eléctrica se ahorra el consumo de agua que se emplea en los sistemas de enfriamiento de las termoeléctricas.
- Beneficio a las comunidades donde se asientan estas ya que se tienden líneas de interconexión y subestaciones eléctricas para abastecerlas de electricidad.
- Los costos de la tecnología para el aprovechamiento de esta fuente de energías así como los precios de la energía generada con esta son cada vez más baratos.

▪ **Desventajas**

- Es de naturaleza intermitente, carácter difuso y baja densidad.
- Se requieren condiciones de intensidad y regularidad en el régimen de vientos para poder aprovecharlos
- Las granjas de viento emplean grandes extensiones de terreno, causan un impacto visual negativo, e interferencia electromagnética.



2.1.4. Energía Geotérmica

En general, la energía geotérmica es definida como almacenamiento de calor en el interior de la tierra. En promedio, la temperatura de la tierra se incrementa aproximadamente 3°C por cada 100 m de profundidad, aunque este valor es conocido será altamente variable.



Imagen 4: Geiser. Actualmente, los recursos hidrotérmicos son los más usados a escala comercial

Se distinguen usualmente cuatro tipos de energía geotérmica: hidrotérmica (agua caliente o vapor que se encuentran a profundidades entre 100 m a 4,500 m), geopresión (acuíferos de agua caliente que contienen disuelto metano a altas presiones a profundidades de 3 a 6 km), calor seco de las rocas (anormales formaciones geológicas con poca o sin agua), y magma (roca fundida a temperaturas de 700°C a 1200°C). Actualmente, sólo los recursos hidrotérmicos son usados a escala comercial.

▪ Potencial del recurso a escala mundial

De acuerdo a Palmerini, el potencial global de energía geotérmica es del orden de 140E6 EJ. Sin embargo, una parte muy pequeñas de este total puede ser considerada como recurso y reserva, esto se muestra en la tabla 12.



El potencial de energía geotérmica es muy grande, aún la parte que se considera como reservas, exceden el consumo actual de energía primaria del mundo (cerca de 400 EJ, en 1999).

TABLA 12
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL GLOBAL TÉRMICO.

CATEGORIA DE LOS RECURSOS	TOTAL DE ENERGÍA, EJ/AÑO
Recursos accesibles (la cantidad de calor que teóricamente puede explorarse dentro de una profundidad de 5km)	140E6
Recursos (la base de la porción de recursos accesibles se espera que llegué a ser económica dentro de 40-50 años)	5E3
Reservas (la base de la porción de recursos accesibles se espera que llegué a ser económica dentro de 10-20 años)	500

Fuente: WEC, 1994

En la tabla 13 podemos apreciar el enorme potencial del recurso geotérmico del que se dispone según su distribución por regiones del mundo

TABLA 13
DISTRIBUCIÓN DEL POTENCIAL GLOBAL GEOTÉRMICO POR REGIONES

REGION DEL MUNDO	TOTAL DE ENERGÍA EJ/AÑO
NA - Norte América	26E6 (18.9%)
LA - América Latina	26E6 (18.6%)
WE - Oeste de Europa	7E6 (5.0%)
EE/CIS - Este de Europa y países de la formada Unión Soviética	23E6 (16.7%)
MENA - Medio oriente y Norte de África	6E6 (4.5%)
SSA - Sudáfrica y el Sahara	17E6 (11.9%)
Región Pacifico (excluyendo China)	11E6 (8.1%)
China	11E6 (7.8%)
CSA - Asia Central y Sur de Asia	13E6 (9.4%)
Total	140E6

Fuente: WEC, 1994



▪ Disponibilidad del Recurso en México

Debido a que el país se encuentra en una zona tectónica activa, las manifestaciones geotérmicas se encuentran a lo largo de México; especialmente en el cinturón volcánico central. La república tenía el tercer lugar mundial (en 1998 según WEC) en capacidad de planta de poder geotérmico, después de los Estados Unidos y Filipinas.

▪ Usos y aplicaciones



IMAGEN 5: Fumarolas

Como trabaja la energía geotérmica

El calor de la tierra, llamado energía geotérmica, calienta el agua que se filtra a los depósitos subterráneos. Estos depósitos pueden explotarse y tiene una gran variedad de usos dependiendo de la temperatura del agua.

La energía de los depósitos de alta temperatura (107° a 316°C) pueden usarse para producir electricidad. Actualmente hay tres tipos de planta que emplean energía geotérmica: Las de emplean vapor seco, las de flash de vapor, y las de ciclo binario.

- Las plantas de generación que emplean vapor seco entuban el vapor de los pozos subterráneos a la planta de potencia, donde se usa para hacer rotar una turbina, que activa un generador para producir electricidad.
- Las plantas de generación por flasheo de vapor, que emplean agua a temperaturas mayores de 182°C, son las más comunes. El vapor producto de la ebullición del agua del subsuelo se usa entonces para dar potencia a un generador. El agua



remanente, así como el vapor condensado se se inyecta en la superficie del terreno para ser recalentado.

- Las plantas de generación de ciclo binario emplean el calor de los depósitos de menor temperatura (107° a 182°C) para hacer hervir al fluido de trabajo, el cual se vaporiza en un intercambiador de calor el cual es usado para dar potencia al generador.

El agua, que nunca está en contacto directo con el fluido de trabajo, una vez condensada se inyecta en la superficie del terreno para ser recalentado.

Como se usa la energía geotérmica

El agua de temperatura media (21° a 93°C) pueden usarse directamente para calefacción de edificios, en los viveros para el cultivo de plantas y para secar granos de cosechas, derretir nieve sobre aceras. Los depósitos geotérmicos de alta temperatura (107° a 316°C) se usan generalmente para producir electricidad a gran escala en centrales. Las bombas de calor geotérmico permiten a los propietarios de negocios y hogares aprovechar la temperatura constante de la tierra (alrededor 13°C) para calefacción y aire acondicionado de edificios, y para calentar agua.

Donde se usa la energía geotérmica

Actualmente la tecnología de perforación limita desarrollar el uso de los recursos geotérmicos por lo que solo se explotan aquellos que se encuentran a profundidades moderadas. Sin embargo, los investigadores desarrollan nuevas tecnologías para aprovechar el calor que se encuentra a mayores profundidades –rocas "secas"– que puedan hacer perforaciones en casi cualquier tipo de terreno. La investigación en todas las áreas de desarrollo geotérmico están ayudando a disminuir los costos de la tecnología y a expandir su uso.



Las bombas de calor geotérmicas pueden usarse en casi cualquier parte. El único requerimiento es suficiente terreno para enterrar los tubos del intercambiador de calor. Las bombas de calor geotérmicas han probado mayor popularidad en áreas con grandes requerimientos de calentamiento.

▪ Tecnologías

Exploración: La geología, geoquímica, y las técnicas geofísicas se usan para ubicar recursos geotérmicos.

Perforación: La perforación para recursos geotérmicos se ha adaptado de la industria del petróleo con modificaciones tomando en cuenta las altas temperaturas y la salinidad. El taladro mejorado bits, taladro de abertura estrecha, instrumentos avanzados, y otras tecnologías de perforado están siendo desarrollados.

Las bombas de calor geotérmico

Las bombas de calor geotérmico, usan temperaturas relativamente constantes de agua del subsuelo o de la superficie como fuente de calor y para la calefacción de hogares y edificios.

Producción de electricidad

Los depósitos subterráneos de vapor o de agua caliente que son calentados por una emanación de magma, pueden explotarse para la producción de energía eléctrica.

Avances tecnológicos

Los avances tecnológicos pueden ayudar a administrar los recursos geotérmicos para la producción de energía, mejorar la eficiencia de operación de las plantas, y aprovechar nuevos recursos tales como la energía del calor de las rocas secas, recursos geopresurizados (agua caliente), y magma (roca fundida).



- **Ventajas**

- Energía constante y barata.
- la generación de electricidad a partir de esta fuente es muy eficiente
- Recurso renovable con mínimas emisiones de contaminantes
- Se dispone de reservas cuantiosas aún por explotar

- **Desventajas**

- Fuente de energía dispersa
- Algunos de los proyectos para generar energía a partir de esta fuente no son viables aún económicamente.

2.1.5 Energía Hidráulica

Se conoce como energía hidráulica a la energía adquirida por el agua en el proceso natural de evaporación-lluvia provocado por la energía solar y se manifiesta en forma de energía cinética y/o potencial en ríos y embalses, transformándose en energía aprovechable al desplazarse hacia niveles inferiores. Este caudal, que se puede manifestar en grandes caídas o en muchas corrientes, es la fuente de la energía hidroeléctrica. El agua en movimiento empuja dispositivos giratorios que la convierten en energía mecánica, o para mover generadores de electricidad.

- **Potencial del recurso a escala mundial**

Es difícil cuantificar el enorme potencial de energía hidráulica de la que dispone el planeta pero por ejemplo, en un estudio realizado por la Secretaría de Energía se estimó que para obtener una capacidad de generación de energía eléctrica de 3,000 kW, que es la suficiente para satisfacer a 1,000 departamentos, se requiere tener una caída de agua de 100 m con un gasto de 3 m³/s [5]. Esto se logra ampliamente en cualquier zona montañosa del planeta con un régimen regular de lluvias.



▪ Potencial del recurso en México

El potencial hidroeléctrico total nacional se estima en 53,000 MW, del cuál se tienen identificados 541 sitios con un potencial de 19,600 MW. Tan sólo para una importante región montañosa de México, comprendida entre los estados de Veracruz y Puebla, se han identificado 100 sitios de aprovechamiento que alcanzarían una generación de 3,570 GWh anuales, equivalentes a una capacidad media de 400 MW.

▪ Usos y aplicaciones

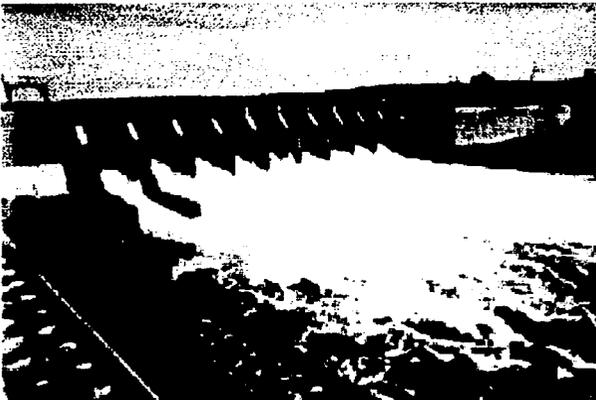


IMAGEN 6: El agua de un río puede ser almacenada en presas y posteriormente ser utilizada para mover una turbina acoplada a un generador para producir electricidad

La hidroenergía es quizás la forma más antigua de aprovechamiento de energía para el desarrollo de las actividades productivas de la humanidad. Las ruedas hidráulicas se utilizaron desde el tiempo de los antiguos romanos para actividades como la molienda de granos, en los aserraderos y para generar energía mecánica y eléctrica.

Típicamente, en hidroenergía, se asume que se producirá mayor potencia cuando la presión dinámica (cuando el agua está siendo usada) es igual a las dos terceras partes de la presión estática (cuando el sistema está cerrado y no hay flujo).

▪ Tecnología

Una vez que el agua de un caudal se confina en la tubería de alimentación, es inyectada sobre las aletas de una turbina y esta, a su vez, impulsa al generador que transforma la energía mecánica producida por la turbina en energía eléctrica.



En su clasificación más general se distinguen dos tipos de turbinas las de *impulso* (Pelton) que trabajan sometidas a la presión atmosférica y las de *reacción* (Francis y Kaplan) cuyos rodetes se encuentran sometidos a presiones diferentes a la presión atmosférica.

Las turbinas también pueden clasificarse según su patente en las de tipo Francis, Kaplan y las Pelton, siendo las del tipo Pelton las más populares debido a su versatilidad para operar en amplios rangos de caudales y presiones.

En cuanto al tamaño de las plantas hidroeléctricas se refiere podemos encontrar a las grandes instalaciones hidroeléctricas, aunque las definiciones varíen, la DEUS las define como aquellas que tienen una capacidad de más de 30 MW. Las pequeñas hidroeléctricas son aquellas que tienen una capacidad de 0.1 a 30 MW y por último, una micro-hidroeléctrica es aquella que tiene una capacidad de 100 kW (0.1MW).



IMAGEN 7 Los proyectos de corrida de río dividen una porción del agua de un río para generar electricidad.

También se tienen diferentes tipos de hidroeléctricas como las de almacenamiento, para grandes hidroeléctricas las cuales emplean un dique y un depósito para almacenar agua de un río la que posteriormente puede liberarse para satisfacer la variación en las necesidades de generación eléctrica o para mantener un nivel constante en el depósito.



También se tienen las hidroeléctricas de desviación, algunas veces llamada "corrida de río". Donde una porción de agua de un río se canalizan a través de un canal hacia la hidroeléctrica por lo que esta puede no requerir el uso de una presa. Y finalmente las de acumulación de energía o de rebombeo la cual trabaja bajo el siguiente principio: En las horas de gran demanda generan energía eléctrica como cualquier planta convencional y en las horas de baja demanda, especialmente durante la noche, se les suministra energía de otra fuente generadora del sistema para elevar el agua por medio de bombeo a la presa o embalse, de manera que este tenga suficiente agua para generar nuevamente en las horas pico del día siguiente, y completar así un ciclo

▪ **Ventajas**

- Combustible limpio y gratis
- Potencialidad del recurso abundante en el país
- Tecnología rentable
- Los esfuerzos de investigación y desarrollo han tenido éxito al reducir muchos de los impactos ambientales negativos causados por las hidroeléctricas mediante el uso de escaleras para peces (facilitando la migración de los peces), resguardo de peces, diseño de nuevas turbinas, y ventilación de los depósitos.
- Actualmente las investigaciones se enfoca en el desarrollo de una "próxima generación de turbinas, esperando que está incrementando la proporción de sobrevivencia de los peces y mejorar las condiciones ambientales.

▪ **Desventajas**

- Se requiere un régimen regular de lluvias
- Las centrales hidroeléctricas producen afectaciones ecológicas como: la construcción de presas causa alteraciones ecológicas al inundar grandes extensiones de tierras útiles a la agricultura o de bosques. Por otra parte, también las fallas en las presas afectan a los asentamientos humanos.



- Muchos proyectos a gran escala han sido criticados por alterar el hábitat de la fauna silvestre, impedir la migración de los peces, afectar la calidad y el flujo normal del agua.

2.1.6. Hidrocarburos

▪ Potencial del recursos a nivel mundial

1. Petróleo

El petróleo es una mezcla en la que coexisten en fases sólida, líquida y gas, compuestos denominados hidrocarburos, que reciben este nombre por estar constituidos principalmente por átomos de hidrógeno y carbono, aunque también incluyen en sus moléculas pequeñas proporciones de otros elementos como el nitrógeno, azufre, oxígeno y algunos metales. El petróleo es un producto natural inmerso en los poros de rocas sedimentarias, se le atribuye un valor mineral y es susceptible de generar, a través de procesos de transformación industrial, productos de alto valor, como son los combustibles, los lubricantes, las ceras, los solventes y los derivados petroquímicos. Dependiendo del número de átomos de carbono y de la estructura de los hidrocarburos que integran el petróleo, se tienen diferentes propiedades que los caracterizan, entre las que es de particular importancia por su influencia determinante en los procesos de separación que ocurren en las operaciones de transformación industrial. La proporción de las familias de hidrocarburos (parafinas, isoparafinas, naftenos y aromáticos) que ocurren en el petróleo depende también del número de átomos de carbono y por lo tanto del punto de ebullición de los componentes. Esta proporción es también dependiente de las características muy particulares de cada petróleo. Por este concepto, se pueden tener petróleos de base parafínica, nafténica o intermedia, clasificación que aplica individualmente a las fracciones ligera y pesada del petróleo. Otras formas de clasificar al petróleo son por su densidad (en g/cm^3 o en grados API) y por su viscosidad, (unidad de medición común poise o el centipoise).



De acuerdo a estas propiedades, el petróleo puede clasificarse en ligero o pesado.

Este energético es la principal fuente de energía primaria del mundo. Las reservas mundiales de petróleo para fines de 1999 se estimaron en 1033.8 Mmbp distribuidos de acuerdo con la tabla 14.

TABLA 14
RESERVAS MUNDIALES DE PETRÓLEO (Mmbp)

REGION	1998	1999
Norteamérica	84.7	63.7
Sur y Centro América	89.0	89.5
Europa	20.8	20.6
Ex Unión Soviética	65.4	65.4
Medio Oriente	673.6	675.7
Africa	75.4	74.9
Asia	43.1	44.0
Total mundial	1052.0	1033.8

Fuente: British Petroleum, Statistical Review of World Energy

2. Gas Natural

El gas natural está constituido principalmente por metano con proporciones variables de otros hidrocarburos (etano, propano, butanos, pentanos y gasolina natural) y de contaminantes diversos. Este es también un importante energético derivado de los procesos de refinación más importantes del petróleo

Las reservas mundiales de gas natural ascendieron para finales de 1999 a 146.43 tmc. Teniendo en primer lugar de reservas probadas la Ex. Unión Soviética con 56.70 tmc de gas natural.



TABLA 15
RESERVAS MUNDIALES DE GAS NATURAL (tmc)

REGION	1998	1999
Norteamérica	8.35	7.31
Sur y Centro de América	6.21	6.31
Europa	5.21	5.15
Ex. Unión Soviética	56.70	56.70
Medio Oriente	49.53	49.52
África	10.22	11.16
Asia	10.17	10.28
Total mundial	146.39	146.43

Fuente: British Petroleum, Statistical Review of World Energy

▪ Potencial del recurso en México

1. Petróleo

México posee masivos recursos petroleros por lo que en 1998 ocupó el octavo lugar en volumen de reservas probadas de petróleo crudo con 47.8 Mmbp y para fines de 1999 ocupó el décimo lugar mundial con 28.4 Mmbp. Los principales campos petrolíferos se localizan en el Este del país, específicamente en el Golfo de México en las costas de Campeche.

2. Gas Natural

Aunque las reservas probadas han caído año con año desde fines de 1989, cuando estas eran cerca de 2.08 tmc, aún permanecen en el tercer lugar de reservas más grandes de América del Norte. Dentro del total para 1996 las reservas fueron 1.81 tmc, de los cuales el 57% se ubicaron en la región norte, 25.4% en la región sur y en las regiones marinas.

La producción de gas natural tubo su máximo nivel durante 1990 pero se registro un incremento súbito en 1996 debido a la disponibilidad de gas asociado de nuevos campos marinos, alrededor del 80-85% de la producción de gas en México se asocia con el rendimiento de petróleo crudo que se extrae en su mayoría de las áreas productoras de los mares sureños de la República.



Así para finales de 1999 las reservas de gas natural que fueron de 0.81 tmc presentaron una disminución considerable con respecto a años como 1989 o 1998 contando en este ultimo año con 1.80 tmc. La figura 8 presenta la ubicación de las reservas estimadas de petróleo y gas natural del país para 1998.

FIGURA 8
RESERVAS DE GAS NATURAL Y PETRÓLEO CRUDO



TABLA 16
RESERVAS NACIONALES DE HIDROCARBUROS (1998)

NO.	HIDROCARBUROS	RESERVAS PROBADAS (millones de barriles)
1	Gas natural	7,498
2	Petróleo crudo	13,979
3	Petróleo crudo	8,623
4	Gas natural	2,751
5	Petróleo crudo	25,220
6	Gas natural	2,089
Total de gas natural		12,248*
Total de petróleo crudo		47,822

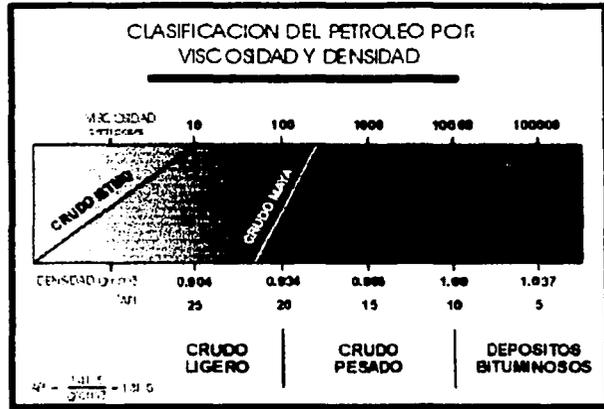
Fuente: Secretaría de Energía, estos datos son al primero de enero de 1998.

* Incluye a los condensados y líquidos del gas natural



FIGURA 9

De acuerdo a las propiedades de densidad y viscosidad ya mencionadas, el petróleo puede clasificarse en ligero o pesado. El petróleo crudo mexicano que se conoce como Istmo es ligero y el tipo Maya se encuentra en los límites de ligero-pesado como se aprecia en la figura 9.



▪ **Usos y aplicaciones**

Los hidrocarburos tienen una amplia aplicación como por ejemplo el mayor uso que se le da al gas natural es ser combustible para la industria y actualmente se emplea como combustible en las plantas de generación eléctrica, en el transporte y uso doméstico. A través del refinado o refinado del petróleo se obtienen productos de gran uso en una amplia gama de industrias que van desde la farmacéutica y la construcción, hasta la alimenticia a través de los fertilizantes y plaguicidas.

Alguno de sus derivados como el combustóleo se emplea como combustible en las termoeléctricas para generar electricidad, la gasolina y kerosinas se usan en el transporte terrestre y aéreo; también se obtiene los mejores lubricantes y productos para la industria petroquímica.

▪ **Tecnologías**

La tecnología empleada para la exploración y explotación de yacimientos petroleros, así como para su transformación en energéticos y otros derivados es la más desarrollada de todas las tecnologías de las otras fuentes de energía.



Aquí se mencionan algunas tecnologías para su:

Explotación

Tradicionalmente, se distinguen dos tipos de explotación de yacimientos de hidrocarburos: la recuperación primaria y la recuperación asistida.

La recuperación primara o drenaje natural de los yacimientos petroleros no necesita ninguna acción exterior. El porcentaje medio de recuperación alcanza entre el 30 y 33% del contenido del yacimiento.

La recuperación asistida designa el conjunto de procedimientos de explotación que permiten aumentar sustancialmente dicho porcentaje. Entre estas técnicas se encuentra la inyección de vapor de agua o gases. Así mismo están incluidos los procesos miscibles, químicos, por polímeros, inyección de bacteria. Estos procedimientos han mostrado hasta el momento poca factibilidad económica.

Son de reciente aparición, los procesos de inyección de fluidos supercríticos, los cuales son en opinión de los expertos, la tecnología más prometedora. Los fluidos que actualmente se utilizan son el metano, el nitrógeno y el dióxido de carbono.

En la actualidad hay una intensa actividad científica, interdisciplinaria, en torno a la extracción supercrítica de acuerdo a las siguientes líneas.

- Sobre los mecanismos termodinámicos intrínsecos (termodinámica continua, fenómenos críticos, solubilidades, etcétera).
- Mecánica de fluidos en medios porosos
- Tensión superficial
- Simulación de procesos supercríticos.



Procesos de transformación industrial del petróleo

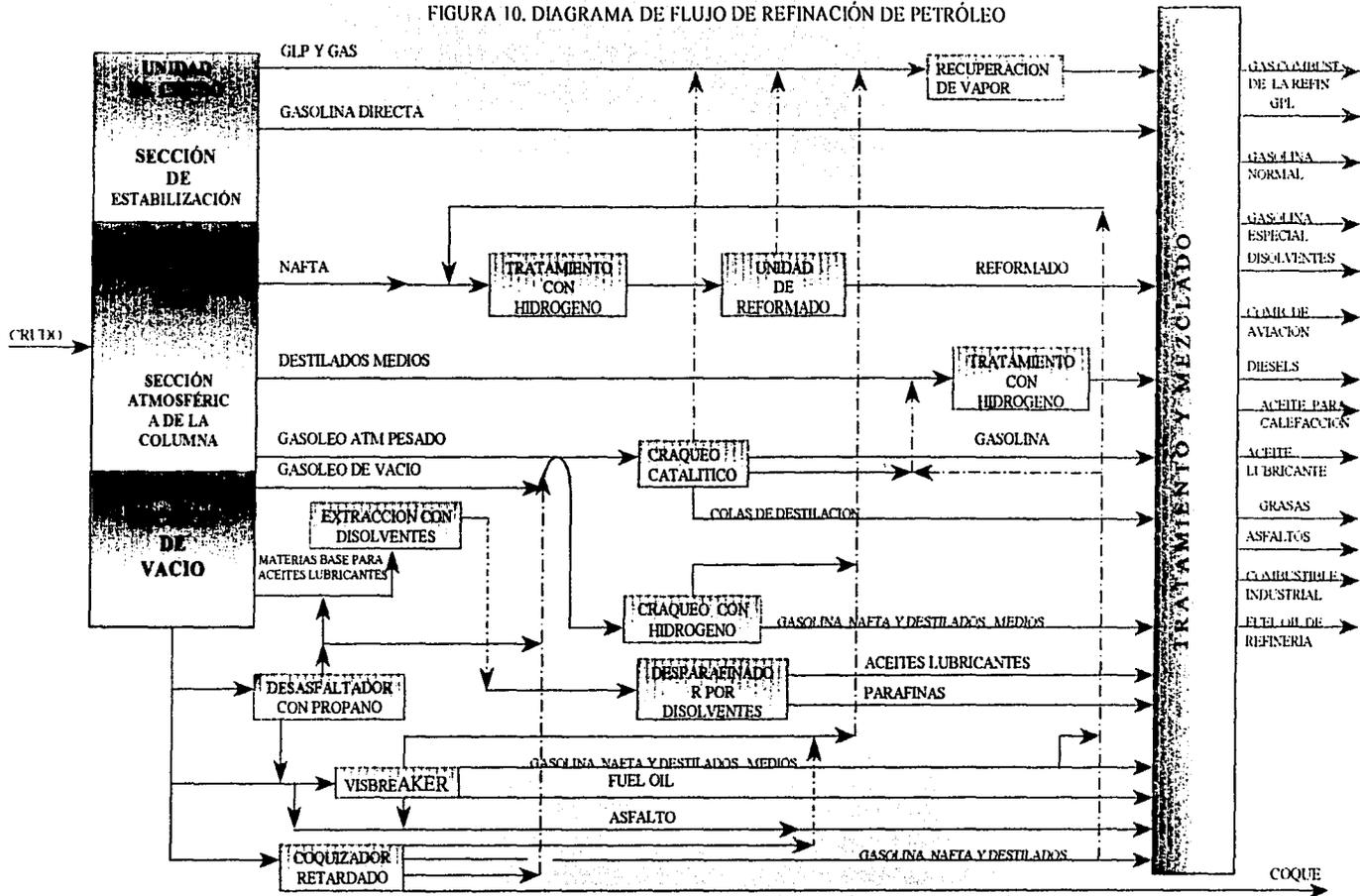
El primer proceso que aparece en una Refinería es la **destilación atmosférica y a vacío**. La destilación es un proceso fundamental en la industria de transformación del petróleo, pues permite hacer una separación de los hidrocarburos aprovechando sus diferentes puntos de ebullición (temperatura a la cual hierve una sustancia). La sola destilación del petróleo crudo no permite cumplir con las especificaciones que rigen a los combustibles hoy en día, ni los rendimientos naturales corresponden a las demandas del mercado. De esta manera, se tienen que incorporar procesos de refinación que modifiquen la estructura química de los hidrocarburos presentes en las fracciones, y permitan hacer los ajustes necesarios en términos de calidad y cantidad relativa de los productos.

La mayoría de los procesos químicos que participan en la industria de refinación del petróleo están basados en el uso de catalizadores. Existen, sin embargo, algunos procesos químicos de refinación del petróleo que no usan catalizadores, basándose exclusivamente en el uso de muy altas temperaturas para provocar, por ejemplo, la descomposición de hidrocarburos pesados en otros de menor peso molecular.

Además de la destilación atmosférica y al vacío, los procesos de refinación más importantes son los siguientes:

1. Hidrotratamiento
2. Reformación de nafta
3. Isomerización
4. Destilación catalítica fluida
5. Producción de ésteres
6. Alquilación
7. Fondo de barril
8. Producción de lubricantes
9. Endulzamiento y recuperación de azufre
10. Procesamiento de gas natural
11. Procesos petroquímicos

FIGURA 10. DIAGRAMA DE FLUJO DE REFINACIÓN DE PETRÓLEO



TESIS CON FALLA DE ORIGEN



- **Ventajas**

- Energía almacenada altamente concentrada por tanto no es una fuente difusa de energía
- Reducidos costos de explotación, producción, almacenamiento, etc. con respecto a las fuentes difusas de energía
- Abundante desarrollo tecnológico para su exploración, explotación, proceso y usos finales.
- Las propiedades fisicoquímicas de los hidrocarburos hacen una buena combinación con la máquina de combustión interna para el sistema de transporte tanto terrestre como aéreo con el que es difícil de competir desde el punto de vista de precio, peso y volumen.

- **Desventajas**

- Fuente no renovable de energía
- No es compatible con el medio ambiente ya que a lo largo de su extracción, transportación, procesamiento y en particular usos finales causan múltiples consecuencias dramáticas para el medio ambiente y la salud: efecto invernadero, lluvias ácidas, contaminación de todo tipo: óxidos de nitrógeno y de azufre en las centrales termoeléctricas; plomo, benceno, ozono en el tráfico urbano; contaminación térmica.
- El aumento de los precios del petróleo provoca crisis energéticas y económicas

2.1.7 Energía Nuclear

- **Potencial del recurso a nivel mundial**

Existen yacimientos de uranio, la materia prima en la que se basa la energía nuclear, en diversas regiones del mundo. No se conoce con exactitud sus reservas totales, pero podrían ser limitadas a no ser que se empleen fuentes de muy baja concentración, como granitos y esquistos.



▪ Aprovechamiento del recurso en el mundo

A principios de la década de 1980 había 100 centrales nucleares en funcionamiento o en construcción en Estados Unidos, tras el accidente de Three Mile Island la preocupación por la seguridad y los factores económicos se combinaron para bloquear el crecimiento de la energía nuclear. Desde 1979, no se han encargado nuevas centrales nucleares en Estados Unidos y no se ha permitido el funcionamiento de algunas centrales ya terminadas. En 1990, alrededor del 20% de la energía eléctrica generada en Estados Unidos procedía de centrales nucleares, mientras que este porcentaje es casi del 75% en Francia [31].

En el periodo inicial del desarrollo de la energía nuclear, en los primeros años de la década de 1950, sólo disponían de uranio enriquecido Estados Unidos y la Ex Unión Soviética. Por ello, los programas de energía nuclear de Canadá, Francia y Gran Bretaña se centraron en reactores de uranio natural, donde no puede emplearse como moderador agua normal porque absorbe demasiados neutrones. Esta limitación llevó a los ingenieros canadienses a desarrollar un reactor enfriado y moderado por óxido de deuterio (D₂O), también llamado agua pesada.

El sistema de reactores canadienses de deuterio-uranio (CANDU), empleado en 20 reactores, ha funcionado satisfactoriamente, y se han construido centrales similares en la India, Argentina y otros países.

En Gran Bretaña y Francia, los primeros reactores de generación de energía a gran escala utilizaban como combustible barras de metal de uranio natural, moderadas por grafito y refrigeradas por CO₂ gaseoso a presión. En Gran Bretaña, este diseño inicial fue sustituido por un sistema que emplea como combustible uranio enriquecido. Más tarde se introdujo un diseño mejorado de reactor, el llamado reactor avanzado refrigerado por gas (RAG).



En la actualidad, la energía nuclear representa casi una cuarta parte de la generación de electricidad en el Reino Unido.

En Francia, el tipo inicial de reactor se reemplazó por el reactor de agua a presión (RAP) de diseño estadounidense cuando las plantas francesas de enriquecimiento isotópico empezaron a proporcionar uranio enriquecido. La EX. Unión Soviética tiene un amplio programa nuclear, con sistemas moderados por grafito y RAP. A principios de la década de 1990, estaban en construcción en todo el mundo más de 120 nuevas centrales nucleares.

▪ **Aprovechamiento del recurso en México**

Hay una sola central de energía nuclear con dos reactores de agua en ebullición (RAE), cada uno con una capacidad neta de 654 MW, llamada Laguna Verde en el este del Estado de Veracruz. La primera unidad fue puesta en operación en Abril 1989 y la segunda en Noviembre 1994. La producción total de electricidad de la Laguna Verde contribuyó en un 5.4% de la generación eléctrica neta total de México en 1996. Se pretende continuar generando electricidad nuclear con los dos reactores de la Laguna Verde, durante su vida útil y no hay planes actualmente para diseñar nuevas centrales de energía nuclear para generar electricidad.

▪ **Usos y Aplicaciones**

La principal aplicación de la energía nuclear es la generación de electricidad en centrales nucleoelectricas, aunque también en algunos países se emplea en la producción de material para armas nucleares y en los reactores de propulsión de grandes buques de superficie o submarinos nucleares. Los soviéticos construyeron el primer rompehielos nuclear, el Lenin, para emplearlo en la limpieza de los pasos navegables del Ártico.



▪ Tecnología

Reactores de energía nuclear

Los primeros reactores nucleares a gran escala se construyeron en 1944 en Hanford, en el estado de Washington (US), para la producción de material para armas nucleares. El combustible era uranio natural; el moderador, grafito. Estas plantas producían plutonio mediante la absorción de neutrones por parte del uranio 238; el calor generado no se aprovechaba.

Reactores de agua ligera y pesada

En todo el mundo se han construido diferentes tipos de reactores (caracterizados por el combustible, moderador y refrigerante empleados) para la producción de energía eléctrica. Por ejemplo, en Estados Unidos, con pocas excepciones, los reactores para la producción de energía emplean como combustible nuclear óxido de uranio isotópicamente enriquecido, con un 3% de uranio 235. Como moderador y refrigerante se emplea agua normal muy purificada. Un reactor de este tipo se denomina reactor de agua ligera (RAL).

En el reactor de agua a presión (RAP), una versión del sistema RAL, el refrigerante es agua a una presión de unas 150 atmósferas. El agua se bombea a través del núcleo del reactor, donde se calienta hasta unos 325 °C. El agua sobrecalentada se bombea a su vez hasta un generador de vapor, donde a través de intercambiadores de calor calienta un circuito secundario de agua, que se convierte en vapor. Este vapor propulsa uno o más generadores de turbinas que producen energía eléctrica, se condensa, y es bombeado de nuevo al generador de vapor. El núcleo alberga unas 80 toneladas de óxido de uranio, contenidas en tubos delgados resistentes a la corrosión y agrupados en un haz de combustible.



En el reactor de agua en ebullición (RAE), otro tipo de RAL, el agua de refrigeración se mantiene a una presión algo menor, por lo que hierve dentro del núcleo. El vapor producido en la vasija presurizada del reactor se dirige directamente al generador de turbinas, se condensa y se bombea de vuelta al reactor. Aunque el vapor es radiactivo, no existe un intercambiador de calor entre el reactor y la turbina, con el fin de aumentar la eficiencia. Igual que en el RAP, el agua de refrigeración del condensador procede de una fuente independiente, como un lago o un río. Durante el funcionamiento, e incluso después de su desconexión, un reactor grande de 1.000 MW contiene una radiactividad de miles de millones de curios.

La radiación emitida por el reactor durante su funcionamiento y por los productos de la fisión después de la desconexión se absorbe mediante blindajes de hormigón de gran espesor situados alrededor del reactor y del sistema primario de refrigeración. Otros sistemas de seguridad son los sistemas de emergencia para refrigeración de este último, que impiden el sobrecalentamiento del núcleo en caso de que no funcionen los sistemas de refrigeración principales. En la mayoría de los países también existe un gran edificio de contención de acero y hormigón para impedir la salida al exterior de elementos radiactivos que pudieran escapar en caso de una fuga. En España, la tecnología adoptada en los reactores de las centrales nucleares es del tipo de agua ligera; sólo la central de Vandellòs tiene reactor de grafito refrigerado con CO₂.

Reactores autorregenerativos

La característica fundamental de un 'reactor autorregenerativo' es que produce más combustible del que consume. Lo consigue fomentando la absorción de los neutrones sobrantes por un llamado material fértil.

Existen varios sistemas de reactor autorregenerativo técnicamente factibles. El que más interés ha suscitado en todo el mundo emplea uranio 238 como material fértil.



Cuando el uranio 238 absorbe neutrones en el reactor, se convierte en un nuevo material fisionable, el plutonio, a través de un proceso nuclear conocido como desintegración β (beta).

El sistema autorregenerativo a cuyo desarrollo se ha dedicado más esfuerzo es el llamado reactor autorregenerativo rápido de metal líquido (RARML). En Estados Unidos, el desarrollo del sistema RARML comenzó antes de 1950, con la construcción del primer reactor autorregenerativo experimental, el llamado EBR-1. Un programa estadounidense más amplio en el río Clinch fue cancelado en 1983, y sólo se ha continuado el trabajo experimental. En Gran Bretaña, Francia, Rusia y otros Estados de la antigua URSS funcionan reactores autorregenerativos, y en Alemania y Japón prosiguen los trabajos experimentales.

Aceleradores de partículas

Alrededor de 1930, el físico estadounidense Ernest O. Lawrence desarrolló un acelerador de partículas llamado ciclotrón. Esta máquina genera fuerzas eléctricas de atracción y repulsión que aceleran las partículas atómicas confinadas en una órbita circular mediante la fuerza electromagnética de un gran imán. Las partículas se mueven hacia fuera en espiral bajo la influencia de estas fuerzas eléctricas y magnéticas, y alcanzan velocidades extremadamente elevadas.

La aceleración se produce en el vacío para que las partículas no colisionen con moléculas de aire. A partir del ciclotrón se desarrollaron otros aceleradores capaces de proporcionar energías cada vez más altas a las partículas. Como los aparatos necesarios para generar fuerzas magnéticas intensas son colosales, los aceleradores de alta energía suponen instalaciones enormes y costosas.



▪ **Ventajas**

Si la energía de fusión nuclear llega a ser practicable, ofrecería las siguientes ventajas:

- 1) Una fuente ilimitada de combustible, el deuterio (isótopo de hidrógeno de masa 2) procedente de los océanos;
- 2) Imposibilidad de un accidente en el reactor, ya que la cantidad de combustible en el sistema es muy pequeña, y
- 3) Residuos mucho menos radiactivos y más sencillos de manejar que los procedentes de sistemas de fisión.

▪ **Desventajas**

- Un sistema ordinario de energía nuclear tiene un periodo de vida relativamente breve debido a su muy baja eficiencia en el uso del uranio: sólo aprovecha aproximadamente el 1% del contenido energético del uranio.
- Se generan productos potencialmente nocivos durante la operación de las plantas nucleoelectricas que podemos clasificar en varios grupos: materiales de alto nivel radiactivo que se producen directamente de la fisión del uranio; materiales de nivel radiactivo medio y bajo producto de activación por neutrones o de posibles fugas; los desechos de la operación de la planta de tratamiento de residuos radiactivos y finalmente pequeñas cantidades de materiales radiactivos emitidos al ambiente en forma 'controlada'.
- Los accidentes de reactores comerciales como los dos casos tan mencionados el de Three Mile Island en 1979 y el de Chernobyl en 1986. El primero tuvo consecuencias graves sobre el mismo reactor y aunque el accidente no causo daños a corto plazo (ni muertes); a largo plazo las estimaciones condujeron a la posibilidad de apariciones de casos de cáncer. El segundo fue de consecuencias más graves, pues en este caso, además de los gases nobles, se enviaron a la atmósfera muchas otras sustancias radiactivas especialmente yodo y cesio. A corto plazo, el número de muertos fue de miles.



En el largo plazo, las consecuencias sobre el público en general no se conocen con precisión, pues el conocimiento de los efectos a largo plazo de la radiación es insuficiente.

2.1.8 Energía de los Océanos.

▪ Potencial del recurso a nivel mundial

Se conocen cuatro tipos de energía: energía de las mares (la energía transferida a los océanos del movimiento de rotación de la tierra a través de la gravedad del sol y de la luna), energía de las olas (la energía mecánica del viento retenida por las olas), energía térmica del océano (la energía almacenada en la superficie caliente del agua de la que puede disponerse empleando diferencias de temperatura con el agua de las profundidades del océano), y la energía de los gradientes de salinidad (la energía que proviene de las diferencias de salinidad entre el agua fresca descargada de los ríos a los océanos y el agua de los océanos).

El mayor avance que se tiene con respecto al uso de la energía de los océanos, es el de sus corrientes, para la cual se tiene un número de plantas de tamaño comercial construidas y que están operando. Los otros recursos de energía de los océanos generalmente no son considerados lo bastante maduros para aplicaciones comerciales.

El potencial teórico de cada uno de los cuatro tipos de energía del océano son muy grandes, como los estimados en la tabla 17.

El potencial de energía de las olas es particularmente atractiva para las regiones más frías del mundo. Además, el potencial de energía de las olas varía a lo largo del año y alcanza un máximo en el período invernal cuando la demanda de energía es más alta.



TABLA 17
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL GLOBAL DE LA ENERGÍA DE LOS OCÉANOS

CATEGORÍA DE LOS RECURSOS	TOTAL DE ENERGÍA, TW/AÑO	TOTAL DE ENERGÍA, EJ/AÑO
Energía de las mareas ¹	22,000	79
Energía de las olas ²	18,000	65
Energía térmica del océano ³	2'000,000	7200
Energía de los gradientes de salinidad ⁴	23,000	83
Energía total del océano	2'063,000	7400

Fuente: WEC, 1998; WEC, 1994; Cavanach, 1993

Notas:

¹ La energía disipada por fricción en mares lejanos y a lo largo de las costas. (WEC, 1998)

² La energía potencial y cinética de las olas disipadas por la fricción y turbulencia. (WEC, 1994)

³ El potencial de energía térmica de los océanos es particularmente difícil de evaluar, pero el conocimiento que se tiene de estas es mayor que para los otros tipos de energía del océano. El uso estimado que se evalúa aquí, de acuerdo con Cavanach, el potencial de energía térmica del océano es dos veces mayor que para la energía de las mareas, las olas o los gradientes de salinidad.

⁴ Bajo la suposición del uso de todos los ríos en el mundo con dispositivos de eficiencia perfecta. (WEC, 1994; Cavanach, 1993).

▪ Potencial del recurso en México

Se tienen examinadas dos áreas en el Golfo de California, una cerca de la Isla Montague en la rivera del Río Colorado, el otro en la Isla del Tiburón más lejana al Golfo. Cada uno de los lugares presenta un rango de marea de entre 6 y 7 m. Un estudio de viabilidad realizado en un sitio cercano al estuario del Colorado, iniciado en 1996, evaluó un potencial de generación total anual cercano a los 3.8 TWh de potencia.

▪ Usos y aplicaciones

Se pretende aprovechar este recurso para la generación de energía eléctrica, principalmente.



▪ **Tecnología**

Aunque en nuestro país aún no se dispone de la tecnología para el aprovechamiento de esta forma de energía puesto que se encuentra en estudio de viabilidad, existe alrededor del mundo más de 1000 patentes de dispositivos para hacer uso de este recurso como ciclos termodinámicos de baja temperatura, osciladores mecánicos y turbinas.

Actualmente se tiene operando satisfactoriamente algunos de estos dispositivos a pequeña escala que colectan la energía ocasionada por el movimiento de las columnas de agua.

▪ **Ventajas**

- Limpia, gratis

▪ **Desventajas**

- Baja intensidad
- Energía de carácter difuso lo cual hace difícil su uso. Las dificultades son específicas para cada tipo de energía del océano, tanto en sus respectivas diferencias de los recursos técnicos como en su progreso tecnológico.
- Solo son aprovechables en ciertas temporadas del año
- Los problemas a los que se enfrentarían los diseños a gran escala localizados mar adentro son las grandes tormentas, huracanes y la resistencia de los materiales a la corrosión y contaminación de los mares.

2.1.9 Energía Solar.

▪ **Potencial del recurso a escala mundial.**

El flujo total de energía de la luz del sol interceptado por la tierra es 170 000 TW o aproximadamente $2.5 \cdot 10^6$ mmbdp – más de 10 000 veces los requerimientos de consumo de energía anual del hombre.



El promedio anual de radiación solar disponible en la superficie terrestre varía desde cerca de 1000 kWh/m² en el norte de Europa a más de 2000 kWh/m² al año en áreas desérticas. La tabla 18 muestra la irradiación anual de las regiones del mundo.

TABLA 18
IRRADIACIÓN ANUAL DE ENERGÍA SOLAR POR REGIONES

REGION	IRRADIACIÓN ANUAL SUPONIENDO CIELO DESPEJADO ^{a)}		PROMEDIO ANUAL SUPONIENDO DE CIELO DESPEJADO	
	min	max	min	max
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
NAM (Norte América)	0.22	0.45	0.44	0.88
LAM (América Latina y el Caribe)	0.29	0.46	0.48	0.91
AFR (Sudáfrica Sahara)	0.31	0.48	0.55	0.91
MEA (Este de Middle y N. Africa)	0.29	0.47	0.55	0.91
WEU (Europa Occidental)	0.21	0.42	0.44	0.80
EEU (Europa central y del Este)	0.23	0.43	0.44	0.80
FSU (Nuevos E. Indep. de la formada Unión Soviética)	0.18	0.43	0.44	0.80
PAO (OECD pacífico)	0.28	0.46	0.48	0.91
PAS (Otros de Asia- Pacífico)	0.32	0.48	0.55	0.89
CPA (Altiplanicie Central Asia y China)	0.26	0.45	0.44	0.91
SAS (Sur de Asia)	0.27	0.45	0.44	0.91

Fuente: WEC (1998)

^{a)}El mínimo supone un plano horizontal del colector; el máximo supone dos planos de eje; los números se obtienen como los promedios para las latitudes más inferiores y superiores de una región determinada

El potencial del recurso de energía solar que muestra la tabla 19 es más que suficiente para satisfacer toda la demanda de energía actual y para una oferta proyectada más allá de 2100. Así la contribución de la energía solar al abastecimiento global de energía no será limitada por la disponibilidad del recurso. Más bien, tres factores determinarán el alcance del uso de la energía solar: (1) eficiencia y bajos costos de las tecnologías de conversión de la energía solar a electricidad y eventualmente a hidrógeno, (2) la eficiencia de las tecnologías para el almacenamiento de energía eléctrica e hidrógeno, y (3) Una alta eficiencia de las tecnologías en el uso final de electricidad e hidrógeno.



TABLA 19
EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR

REGION	TERRENO NO USADO (Gha) DISPONIBLE ^{b)}	SUPONIENDO PARA ENERGÍA SOLAR ^{c)} Mha		POTENCIAL DE ENERGÍA SOLAR ^{d)} EJ/a	
		min	max	min	max
(1)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
NAM (Norte América)	0.5940	5.94	59.4	181.1	7,410
LAM (América Latina y el Caribe)	0.2567	2.57	25.7	112.6	3,385
AFR (Sudáfrica Sahara)	0.6925	6.93	69.3	371.9	9,528
MEA (Este Medio y N. de Africa)	0.8209	8.21	82.1	412.4	11,060
WEU (Europa Occidental)	0.0864	0.86	8.6	25.1	914
EEU (Europa central y del Este)	0.0142	0.14	1.4	4.5	154
FSU (Nuevos Edos. Indep. de la formada Unión Soviética)	0.7987	7.99	79.9	199.3	8,655
PAO (OECD Pacífico)	0.1716	1.72	17.2	72.6	2263
PAS (Otros de Asia- Pacífico)	0.0739	0.747	7.4	41.0	994
CPA (Altiplanicie Central Asia y China)	0.3206	3.21	32.1	115.5	4,135
SAS (Sur de Asia)	0.1038	1.04	10.4	38.8	1,339
Total mundial	3.9331	39.33	39.33	1575.0	49,837
Con relación al actual consumo de energía primaria (425 EJ/a ^{e)})	-	-	-	3.7	117
Con relación al consumo de energía primaria proyectada ^{f)} para 2050 (590-1,050EJ/a)	-	-	-	2.7-1.5	84-47
Con relación al consumo de energía proyectada ^{g)} para el 2100 (880-1,900EJ/a)	-	-	-	1.8-0.8	57-26

^{b)} Las "Otras tierras" categoría de la FAO (1999)

^{c)} El máximo corresponde a 10% de la tierra no usada; el mínimo corresponde a 1% de la tierra no usada.

^{d)} El mínimo es calculado como (9)=(2)*(4)*(7)*[315 EJ/a], donde los números en el paréntesis son los números de las columnas en la tabla 18 y 19, 315 es un coeficiente de conversión; la máxima es (3)*(5)*(8)* [315 EJ/a].

^{e)} Fuente: IEA (1998*)

^{f)} Fuente: ILASA/WEC (1998)

▪ **Potencial del recurso en México.**

En 1997 el Instituto de Ingeniería de la UNAM generó la primera versión de los mapas de irradiación global diaria promedio mensual para México, utilizando datos de insolación de 54 estaciones meteorológicas del Sistema Meteorológico Nacional (SMN). El modelo aplicado por Rafael Almanza, investigador del Instituto de Ingeniería, tiene desviaciones menores del 10 % y fue desarrollado en la India, situación que hizo más



confiable su aplicación en México, ya que tanto la latitud, como los climas en ambos países son semejantes. Actualmente este modelo es el más consultado en México para estimar las cantidades totales de radiación diarias sobre superficies horizontales.

La irradiación media anual en nuestro país según los registros que se han obtenido en las diferentes estaciones meteorológicas instaladas en las principales ciudades de la república, es del orden de los 5 kWh/m²-día.

■ Usos y aplicaciones



IMAGEN 8: La generación fototérmica de electricidad es actualmente una de las aplicaciones más extensas de la energía solar en el mundo

El calor proveniente del sol se usa para calentar agua de uso doméstico o de piscinas, secar granos, mover turbinas para generar electricidad, destruir desechos peligrosos, también en procesos industriales como pasteurización, lavado de textiles, entre otros. La generación fototérmica de electricidad es actualmente una de las aplicaciones más extensas de la energía solar en el mundo.

Las investigaciones iniciales de módulos fotovoltaicos se enfocaron al desarrollo de productos para aplicaciones espaciales, siendo su primera utilización exitosa en los satélites artificiales por sus principales características las hicieron ideales para el suministro de energía en el espacio exterior. Actualmente se emplean en servicio de bombeo de agua, iluminación doméstica y pública en áreas rurales, telefonía, repetidores de microondas y sistemas señales terrestres y marinas.



▪ **Tecnología.**

La tecnología para el aprovechamiento de la energía solar esta constituida básicamente por los sistemas térmicos solares y por los sistemas fotovoltaicos.

1. Los sistemas térmicos solares se dividen en tres categorías: Colectores de baja temperatura, colectores de temperatura media y colectores de alta temperatura

- **Colectores de baja temperatura.**

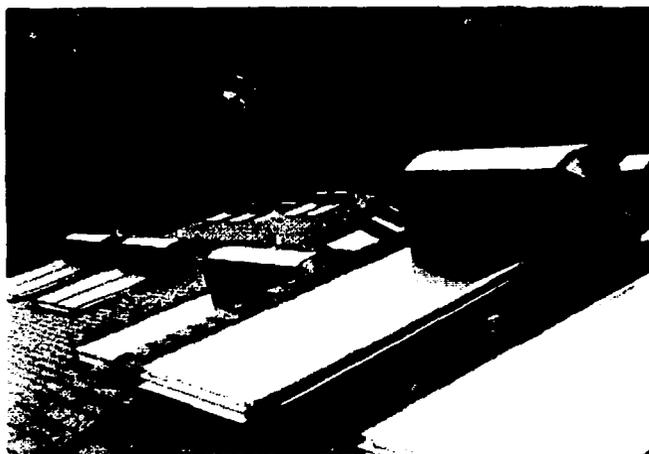


IMAGEN 9: Colector solar plano

Proveen calor útil a temperaturas menores de 65°C mediante absorbedores que pueden ser metálicos o no metálicos para aplicaciones tales como calentamiento de agua en piscinas de uso doméstico y, en general, para todas aquellas actividades industriales en las que el calor de proceso no sea mayor de 60°C, por ejemplo la

pasteurización, el lavado textil, etc.. El colector solar plano es el aparato más representativo de la tecnología solar fototérmica.

- **Colectores de temperatura media.**

Son dispositivos que concentran la radiación solar para entregar calor útil a mayor temperatura, usualmente entre 100 y 300° C.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA



En esta categoría se tienen a los concentradores estacionarios y a los de canal parabólico, todos ellos efectúan la concentración mediante espejos dirigidos hacia un receptor de menor tamaño.

- **Colectores de alta temperatura.** Existen en tres tipos diferentes: los colectores de plato parabólico, la nueva generación de canal parabólico y los sistemas de torre central. Operan a temperaturas mayores a los 500° C y se usan para generar electricidad y transmitirla a la red eléctrica.

A. Sistemas máquina/plato o de plato parabólico.

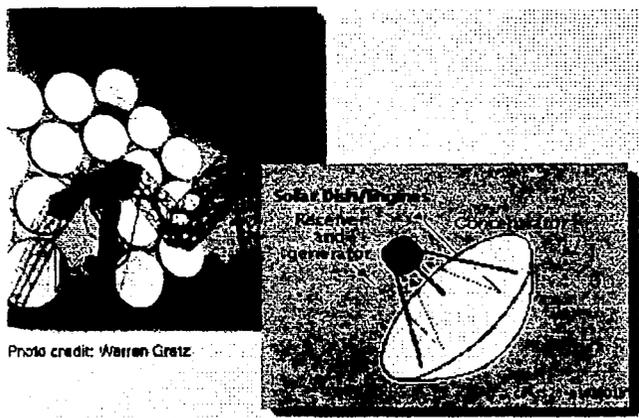


Photo credit: Warren Gretz

IMAGEN 10: Sistema de plato parabólico

Estos sistemas son unidades compuestas por un colector, un receptor, y una máquina. La luz del sol es concentrada por una superficie en forma de plato a través de un receptor montado arriba del plato que absorbe la energía y la transfiere al fluido de trabajo del motor.

El motor convierte el calor a energía mecánica de forma parecida a los motores convencionales, por comprimir el fluido de trabajo cuando este se enfría y calienta el fluido de trabajo comprimido, y entonces lo expande mediante una turbina o un pistón para producir trabajo. La energía mecánica es convertida a energía eléctrica por un alternador o generador eléctrico.



En este tipo de sistemas usan colectores axiales duales los cuales van colocados en un mecanismo de rastreo para seguir el trayecto del sol y son de uno o dos ejes. El concentrador ideal tiene forma parabólica, constituidos por una superficie reflexiva simple o por reflectores múltiples, o en facetas.

Los sistema de rastreo y de plato no son comercialmente disponibles aún, aunque las demostraciones en proceso indican buena potencialidad. Los sistemas de rastreo y de platos individuales actualmente pueden generar cerca de 25 kW de electricidad. Estos sistemas pueden combinarse con gas natural y el híbrido resultante provee de una generación continua de energía.

B. Canal parabólico

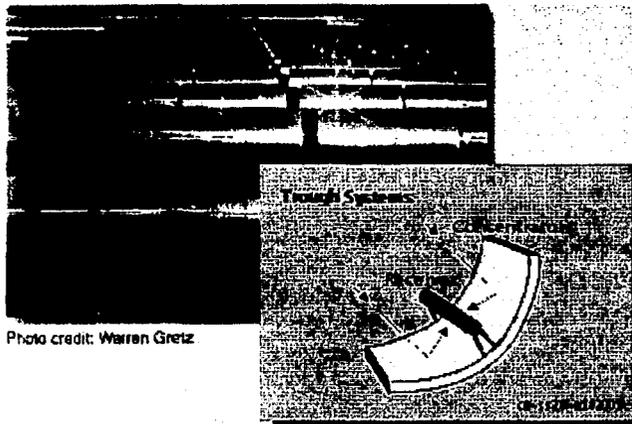


Photo credit: Warren Greiz

IMAGEN 11: Sistema de canal parabólico

Los sistemas tipo canal parabólico usan reflectores parabólicos en una configuración de canal para enfocar la radiación solar directa sobre un tubo que corre a lo largo de su foco y que conduce al fluido de trabajo, el cual puede alcanzar temperaturas hasta de 500° C.

El calor fluye hacia el fluido a través del tubo, y la energía calorífica es usada entonces para generar electricidad en un generador convencional de vapor. Un colector de campo comprende muchos canales en arreglos de filas en paralelo sobre un eje norte-sur. Esta configuración permite un simple eje de canales para rastrear al sol desde el este al oeste durante el día para asegurarse que el sol se enfoca continuamente en los tubos del receptor.



Los sistemas individuales de canal actualmente pueden generar cerca de 80 MW de electricidad. Los diseños de canal pueden incorporar un almacenador térmico — descartando el fluido de transferencia de calor en su fase caliente— para permitir la generación de electricidad varias horas por la tarde. Actualmente, todas las plantas de canal parabólico son "híbridas," esto significa que usan combustible basado en petróleo para complementar el rendimiento solar durante períodos de baja radiación solar.

C. Torre central

La energía del sol es concentrada por un campo de centenares o algunos millares de espejos (llamados "helióstatos") que enfocan la luz del sol, con la ayuda de una computadora y un servo-mecanismo, en un receptor central ubicado en lo alto de una torre.

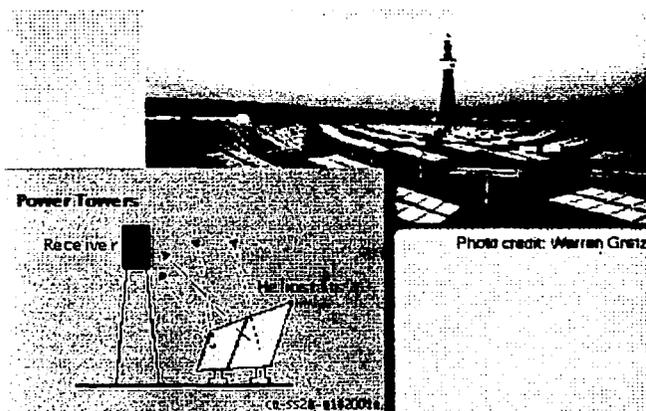


IMAGEN 12: Sistema de torre central

Esta energía caliente sal fundida que fluye a través del receptor, y la energía de la sal caliente es usada para generar electricidad en un generador convencional de vapor. La sal fundida retiene calor eficientemente, así esta puede almacenarse durante horas o días antes de ser usada para generar electricidad.

Una demostración de la torre de energía ubicada en el Desierto de Mojave en California, puede generar cerca de 10 MW de electricidad [17]. La sal líquida a 288°C se bombea desde un tanque de almacenaje "frío" a través del receptor, donde se calienta a 566°C y entonces es almacenado en un tanque "caliente".

TESIS 001
FALLA DE ORIGEN



Cuando se necesita la energía de la planta, la sal caliente se bombea a un sistema que genera vapor sobrecalentado para suministrar potencia a una turbina y al generador. Desde el generador de vapor, la sal se retorna al tanque frío, donde se almacena y finalmente es nuevamente recalentado en el receptor. Con el almacenador térmico, las torres de energía pueden operar con un factor de capacidad anual de 65%, mediante el cual pueden operar potencialmente 65% del año sin la necesidad de una reserva de combustible.

Sin el almacenamiento de energía, las tecnologías solares como estas se limitan a factores de capacidad anuales cercanos a 25%. La operación de la torre de energía puede continuar por largos períodos de tiempo debido a que la energía solar es almacenada por la sal fundida en forma de calor a diferencia de otras tecnologías que emplean fuentes energía renovable.

2. Los Sistemas fotovoltaicos

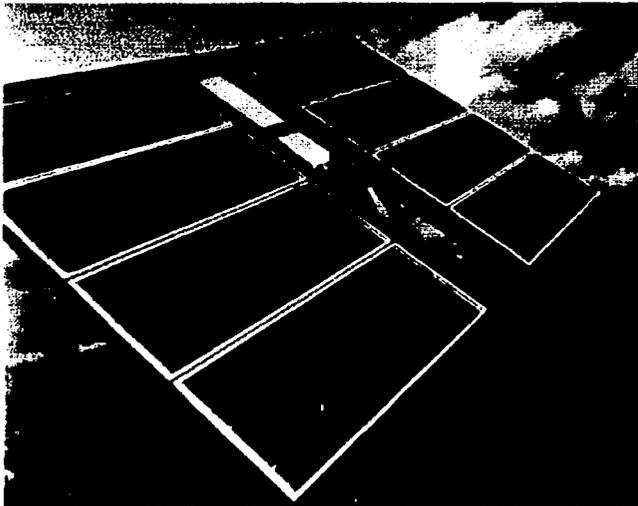


IMAGEN 13: Módulo solar policristalino

La tecnología solar fotovoltaica es la conversión directa de la luz del sol en electricidad. Algunos materiales exhiben una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico, en los cuales se absorben fotones de luz y se liberan electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, resultan en una corriente eléctrica que puede ser usada como electricidad.



- Módulos y conjuntos fotovoltaicos

Un módulo fotovoltaico consiste en un número de celdas solares interconectadas eléctricamente y montadas en una estructura de soporte o armazón. Los módulos son diseñados para suministrar electricidad de un cierto voltaje (comúnmente 12 voltios); la corriente producida depende directamente de cuanta luz incide sobre el módulo. La estructura del módulo protege a las celdas solares de los efectos del medio ambiente, y los módulos solares fotovoltaicos han demostrado ser muy duraderos y confiables. Aunque un módulo es a menudo suficiente para satisfacer muchas necesidades de energía eléctrica, dos o más módulos pueden ser interconectados para formar un conjunto. En general, mientras más grande sea el área de un módulo o de un conjunto más electricidad producirá. Los módulos fotovoltaicos y los conjuntos producen electricidad de corriente continua (cc) y pueden ser conectados en ambas combinaciones eléctricas tanto de serie como paralela para producir cualquier combinación de voltaje y de corriente.

- Los sistemas solares fotovoltaicos

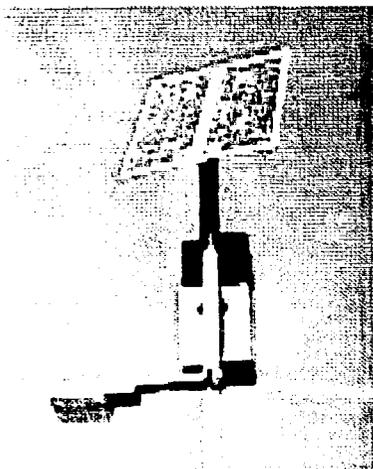


IMAGEN 14: Sistema solar fotovoltaico para iluminación

Un conjunto fotovoltaico por sí mismo no bombeará agua ni producirá luz por las noches. Un sistema solar fotovoltaico completo consiste del módulo o conjunto, más un número de otros componentes colectivamente conocidos como el *balance del sistema* (BOS por sus siglas en inglés). Estos componentes varían con el tipo de servicios que se desee suministrar y cuando se requerirá dicho servicio (día o noche). Los sistemas de iluminación requieren del uso de baterías, al igual que la mayoría de los otros sistemas que se necesitan durante la noche.



- **Materiales básicos de las celdas y módulos fotovoltaicos.**

Existen tres tipos principales de celdas solares: de silicio monocristalino, de silicio policristalino y de materiales de película delgada. Las diferentes tecnologías de celdas fotovoltaicas representan diferentes métodos de intentar reducir el costo de la electricidad fotovoltaica .

Las obleas para las **celdas monocristalinas**, del espesor de una uñas, se obtienen de una serie de rebanadas de un monocristal de silicio puro. Las celdas fotovoltaicas hechas de este material tienen la eficiencia más alta (en proporción a electricidad producida); pero al mismo tiempo, su costo de fabricación es alto. Las obleas para las **celdas policristalinas** son hechas de un bloque de silicio con cristales múltiples. Aunque tienen ciertas ventajas en su fabricación, estas celdas no son tan eficientes como las celdas monocristalinas. Las **celdas solares de película delgada** son construidas en una cámara al vacío depositando capas finas de materiales semiconductores (habitualmente silicio amorfo) sobre un sustrato, el cual al final se convierte en la parte delantera o trasera de un módulo. Debido a que las películas delgadas necesitan muy poco material semiconductor, tienen el potencial de un bajo costo de fabricación. Sin embargo los materiales de película delgada, actualmente en el mercado, tienen una potencia de funcionamiento mucho más baja que las celdas mono- o policristalinas

La mayoría de los módulos fotovoltaicos son conocidos como **módulos tipo plancha**. Los módulos hechos de silicio mono- y policristalino son armados de una manera similar. Las celdas son interconectadas eléctricamente y montadas en un armazón modular que provee soporte a la estructura y protección contra los efectos del medio ambiente. Debido a que las celdas policristalinas son un poco menos eficientes que las de un solo cristal, los módulos policristalinos tienden a ser un poco más grandes que los monocristalinos de una misma potencia nominal.



Los módulos de películas delgadas hechos sobre vidrio también son parecidos a los módulos cristalinos. Sin embargo, ya que las celdas de película delgada tienen potencias mucho más bajas que los otros dos tipos de módulos, estas celdas requieren sustancialmente más área para producir una cantidad dada de electricidad. Los módulos comercialmente disponibles tienen típicamente una potencia nominal en el rango de 1 a 110 W, con los módulos de películas delgadas abarcando en su mayoría las más bajas potencias (ejemplo menos de 10W).

- **Módulos fotovoltaicos concentradores.**

Los módulos fotovoltaicos concentradores usan lentes de plástico para concentrar los rayos del sol en pequeñas celdas fotovoltaicas ubicadas cerca del punto focal del lente. Este método reduce significativamente la cantidad necesaria del costo material para las celdas solares que se necesita para producir una cantidad dada de electricidad, aunque este método aumenta la complejidad del módulo. Además, para acomodar la óptica de los lentes, los módulos concentradores deben ser instalados sobre un rastreador móvil que mantiene al módulo alineado en forma exacta con el sol. Debido a esta complejidad adicional y a la necesidad de rastreo exacto, los módulos fotovoltaicos concentradores se usan generalmente sólo en sistemas que producen 10 kW o más. A diferencia de los módulos tipo plancha, los módulos concentradores generalmente usan luz directa. Habitualmente no son aptos para localidades con niveles bajos de luz solar, en las cuales una gran parte del recurso solar reside en la luz difusa. Sin embargo, los módulos fotovoltaicos concentradores típicamente funcionan con más eficiencia, lo cual puede compensar en parte esta limitación [28].

▪ **Ventajas**

- Combustible limpio, gratis, ampliamente disponible
- Virtualmente inagotable



- Tecnología solar fotovoltaica aceptable por sus principales características como es, simplicidad, bajo peso, eficiencia, confiabilidad y ausencia de partes móviles.
- Los sistemas fotovoltaicos no emiten gases durante su operación, son silenciosos, son capaces de producir energía suficiente para cualquier aplicación, poco mantenimiento y sin reabasto de combustible, energía generada localmente entre otras muchas más ventajas.

- **Desventajas**
 - Baja intensidad por área debido a que la luz del solar es una fuente de energía difusa.
 - Los sistemas solares fotovoltaicos tienen una potencia limitada y tal vez no sean la mejor opción para aplicaciones que requieren alta potencia, como aire acondicionado o calefacción por resistencia, especialmente cuando se necesitan por la noche ya que se requiere de baterías para almacenar la energía lo cual aumenta la complejidad y el costo del sistema.
 - Tecnología con altos costos iniciales y de mantenimiento debido a que las baterías de los sistemas fotovoltaicos necesitan mantenimiento regular y eventualmente se necesita remplazarlas.
 - Desechos. Al final, los sistemas solares fotovoltaicos se convierten en basura- aunque la mayoría de los materiales fotovoltaicos no poseen materiales tóxicos que representen peligro para los seres humanos o el medio ambiente, la mayoría de las baterías contienen materiales tóxicos.
 - Tipo de potencia - Los módulos solares fotovoltaicos producen solamente corriente continua (cc). Un inversor debe ser añadido al sistema para utilizar dispositivos que requieren corriente alterna (ca).



CONCLUSIÓN

El potencial de los recursos energéticos mundiales son abundantes sin embargo para asegurar un adecuado abasto de energía es necesario considerar a todos los tipos de energía los cuales sean económicamente y ambientalmente sustentables como principales premisas del desarrollo sustentable.

Aunque los renovables ofrecen mayores beneficios sobre los combustibles fósiles como: ser más benignos con respecto al medio ambiente, son más eficientes en su utilización y virtualmente inagotables entre otras ventajas, aún estos generalmente en cuanto a la tecnología para su uso es más costosa comparada con la de los combustibles convencionales. Sin embargo, dichos costos han declinado en las últimas décadas y se espera que la tendencia continúe como resultado del acelerado progreso tecnológico. México podría formar parte de esta fase de desarrollo si canalizara más a la investigación y desarrollo de este campo o promoviendo un uso racional de la energía a través del desarrollo tecnológico tanto para en uso de los combustibles fósiles como de los renovables. Pero siendo realistas para alcanzar un desarrollo tecnológico falta mucho camino por andar y mucho por hacer. El país requiere de recursos económicos y humanos especialistas en el área y además carece de la infraestructura adecuada.

Si bien los combustibles fósiles son finitos, no se escasearán a un corto plazo. En la actual razón de producción, el mundo cuenta con reservas hasta por más de 40 años, el gas natural para unos 60 años y el carbón para más de 200 años, esto sin tomar en cuenta los avances tecnológicos que permitirán una mejor explotación de los recursos y los yacimientos aún no descubiertos. Además, los beneficios de los combustibles fósiles son tales que ellos probablemente continuaran abasteciendo la energía requerida. Pero el uso de estos en el largo plazo puede ser restringido por cuestiones de conservación del medio ambiente debido a sus efectos nocivos.

CAPITULO 3



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



3. EL USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO ALTERNATIVA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA EN MÉXICO.

Las crisis petroleras, el acelerado deterioro ambiental en todo el mundo por los efectos adversos de la combustión de combustibles fósiles, el agotamiento de los mismos y la creciente demanda de energía por el continuo incremento de la población mundial y por los países en desarrollo para mejorar el nivel de vida estándar de su población, llamó poderosamente la atención hacia la posibilidad de emplear fuentes alternas de energía. Muchos ingenieros y científicos están de acuerdo que la solución a todos estos problemas globales, sería remplazar el uso de los combustibles fósiles por fuentes energía eficientes y limpias como las fuentes renovables de energía.

De entre las fuentes renovables de energía que actualmente destacan en su uso para generar energía eléctrica son la biomasa, eólica, geotérmica y la solar con significativos avances tecnológicos para su aprovechamiento masivo en la industria eléctrica.

En este capítulo se presenta un panorama de los adelantos tecnológicos en materia de aprovechamiento de los renovables en el ámbito mundial y nacional, además de enumerar las ventajas que se tendrían al adoptar en México una diversificación energética basada en las fuentes renovables de energía como estrategia del desarrollo sustentable.



3.1 APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.

El impulso dado al desarrollo de la tecnología asociada al aprovechamiento de las energías renovables a partir de la década de los setenta, ha permitido que diversas tecnologías en fase experimental se conviertan en un producto capaz de competir en el mercado y ganar terreno a otras alternativas que operan con combustibles fósiles. A continuación repasaremos lo más significativo de los desarrollos que se tienen en la actualidad en el ámbito internacional.

3.1.1 Bioenergía

Con un estimado de 14,000 MW de capacidad instalada alrededor del mundo, la biomasa es la mayor fuente de potencia para generación de energía eléctrica con energías renovables, después de la hidroeléctrica. Estados Unidos es el más grande generador de potencia con biomasa con 7,000 MW instalados. Las expectativas de crecimiento de la generación con biomasa alrededor del mundo son de más de 30,000 MW para el año 2020. China y la India son considerados candidatos para instalar sistemas con biomasa de manera masiva. Las estimaciones muestran que para el 2015 China deberá tener entre 3,500 y 4,100 MW instalados, y la India entre 1,400 y 1,700 MW. Esto representa un crecimiento acelerado de sus niveles actuales de capacidad instalada de 154 y 59 MW respectivamente. Otros países que muestran un promisorio crecimiento por la variedad de sus sistemas de biomasa son Brasil, Malasia, Filipinas, Indonesia, Australia, Canadá, Inglaterra, Alemania y Francia.

Es indudablemente Europa quien ha asumido con mayor responsabilidad el proceso de transición a un sistema energético sustentable, siendo Alemania, Dinamarca y España quienes más se han destacado en estos esfuerzos.



El caso de Dinamarca merece ser ejemplificado. Actualmente cubre 7% de su oferta energética con energías renovables, 5% corresponde a biomasa y para el año 2020 planea cubrir 20% con renovables.

Un ejemplo del empleo que se le puede dar los desechos de una ciudad se encuentra en Birmingham en los Países Bajos. Tysley es una planta que genera energía a partir de los desechos de la ciudad y actualmente se procesan cerca de 350,000 ton/año de las 800,000 ton/año de desechos producidos por la ciudad .

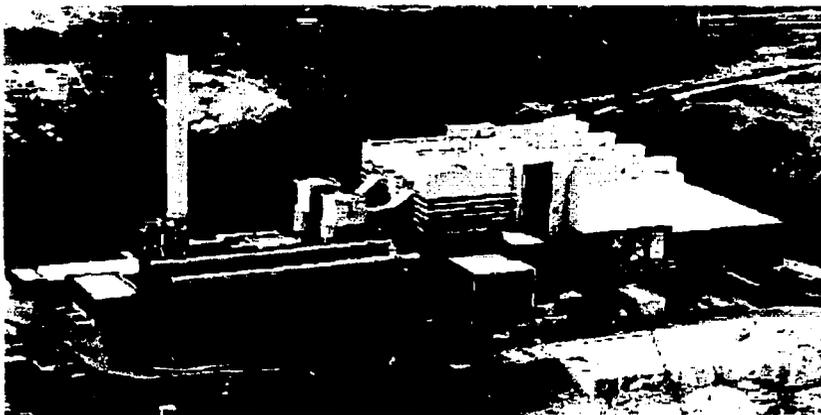


IMAGEN 15: Tysley es una planta de energía a partir de desechos

Desde septiembre de 1996 la planta opera a su máxima capacidad satisfaciendo los nuevos estándares de emisiones ambientales

Descripción de la planta

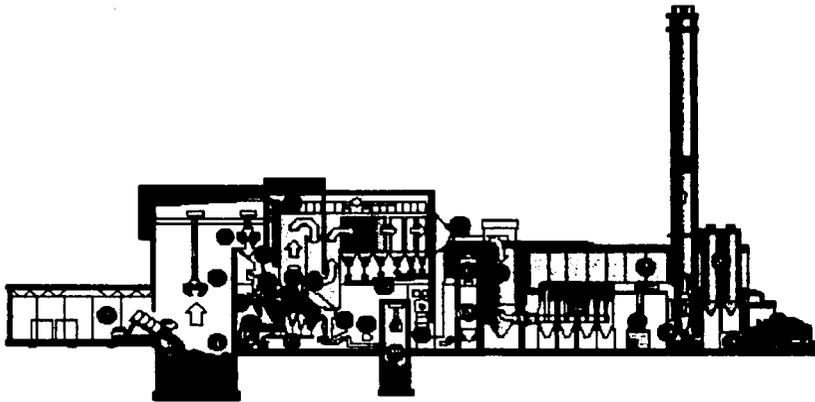
Esta planta emplea una tecnología EfW¹ bien establecida para la combustión de 350,000 ton/año de desechos sólidos municipales. Los desechos son entregados a la planta por carretera. Se alimentan dos corrientes, cada una procesa 23.5 ton/h.

¹ Tecnología moderna para energía de desechos (energy-form-waste)



Dos parrillas reciprocantes Steinmüller proveen calor a la caldera que produce vapor a 40 bar y 400°C. El vapor pasa a una turbina de condensación de vapor multi-etapa, que maneja cuatro flechas del generador a 1,500 rpm. Esta provee 25 MW de electricidad a 11 kV, que es convertido a 132 kV por un transformador para abastecer a la Red Nacional. Se emplea un incinerador pequeño por separado para el tratamiento de desechos clínicos en el sitio. Los gases no tratados del tubo de escape de esta planta se consideran como prioritarios para el sistema de control de contaminación del aire de la planta y tratar de conservar los niveles de emisión.

FIGURA 11
DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA PLANTA DE ENERGÍA EN TYSLEY



- | | | |
|--|---|---|
| 1. Recibidor | 13. Descarga de cenizas | 23. Monitoreo continuo de emisiones |
| 2. Cámara de desechos | 14. Transportador de cenizas | 24. Ventilador de inducción de aire |
| 3. Garfio de grúa para desechos | 15. Imán del tambor | 25. Doble tubo de escape en la chimenea |
| 4. Tolva de alimentación | 16. Cámara de cenizas | 26. Condensador de vapor a vacío |
| 5. Rampa de alimentación | 17. Turbina de vapor | 27. Incinerador de desechos |
| 6. Martillo macerador | 18. Tubo de escape de los gases de la caldera | 28. Casa del compresor |
| 7. Inyección secundaria de aire | 19. Silo de cal | 29. Silos de cenizas |
| 8. Quemador auxiliar | 20. Silo de vapor de carbón | |
| 9. Combustión primaria de aire de ensenada | 21. Apagador del reactor | |
| 10. Combustión primaria de aire del ventilador | 22. Filtros | |
| 11. Caldera | | |
| 12. Transportador de tamiz | | |



3.1.2 Eoloenergía

A partir de las leyes establecidas para promover alternativas al petróleo en los Estados Unidos (EU) como resultado de la crisis de 1973, en el estado de California se presentó un fenómeno particular y extraordinario que fue la aparición de las *granjas eólicas*, grandes arreglos de pequeñas unidades de generación que, agregadas, representan capacidades comparables a las de grandes plantas convencionales. Bajo este esquema, para 1994 California tenía más de 15, 000 turbinas eólicas instaladas que generaban la energía equivalente a la consumida por todos los habitantes de la ciudad de San Francisco en un año.

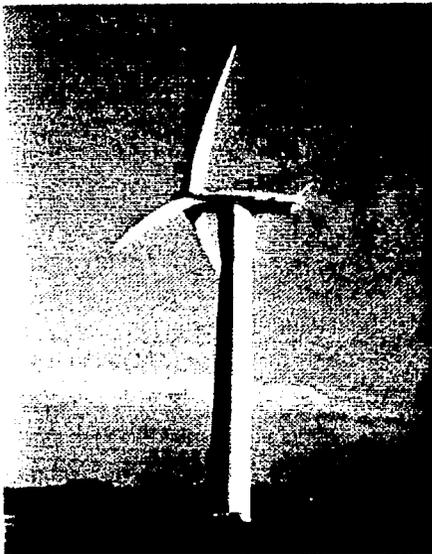


IMAGEN 16: Aerogenerador

La experiencia positiva de California desencadenó una ola de desarrollo que llevó a otros estados de la Unión Americana y a otros países a aprovechar las oportunidades de esta tecnología. Actualmente existen varios proyectos en construcción en los estados de Colorado, Iowa, Minnesota, Nebraska, Kansas, New Mexico, Oregon, Texas, Wisconsin y Wyoming. Todo indica que estos desarrollos elevarán la capacidad eólica de los EU en 50%, lo suficiente para potenciar más de medio millón de hogares americanos. A comienzos del año 2000 se tenían instalados cerca de 2,500 MW eólicos

en EU. Asimismo, al iniciar el presente año se contaba con alrededor de 13,500 MW eólicos en todo el mundo. Con un crecimiento de 38% a escala mundial (3,695 MW), 1999 fue un año excelente para la energía eólica.



Con esto, la capacidad de generación de electricidad a partir de viento ha crecido a una tasa anual promedio de 30% en los últimos tres años. Por su parte, la Unión Europea ha sobrepasado ya la marca de los 9,000 MW, con un acumulado de 9, 182 MW, donde Alemania se consolida como primer lugar con 4,440 MW.

En Europa resalta el dinamismo que presenta la península ibérica, donde el mercado de las energías renovables se ha colocado entre los más importantes de Europa, justo detrás de Alemania y Dinamarca. Esto ha ocurrido, en buena medida, como resultado de una agresiva estrategia gubernamental de fomento de alternativas al petróleo y ha resultado en un crecimiento exponencial, duplicándose la capacidad instalada cada año. De esta manera, de una potencia eólica instalada en 1996 de 216 MW, se alcanzó una capacidad acumulada de 1,542 MW para 1999. Resalta, en particular, la provincia española de Navarra, la cual posee la industria eólica de más rápido crecimiento en el mundo ya que, partiendo de cero capacidad de este tipo, pasó a obtener 23% de su electricidad del viento en menos de tres años.

Todo lo anterior ha causado disminuciones significativas en el costo de la tecnología y de la energía generada por este medio. Ejemplo de esto es la reducción de costos de 50% entre 1992-97. Actualmente los costos promedio de la energía eléctrica generada a partir del viento se ubican entre 4 y 8 centavos de dólar por kWh generado, los cuales ya están muy cerca de los 2.5 centavos de dólar por kWh que actualmente cuesta la generación convencional mediante tecnología de punta.

3.1.3 Geotermoenergía

En las últimas décadas, el vapor seco y el agua de elevada temperatura se han empleado para la generación de electricidad a escala comercial. Los países que destacan por su potencial geotérmico incluyen Italia (donde la electricidad fue generada en principio



empleando esta fuente en 1904), Japón, Nueva Zelanda, Filipinas, China Islandia, la Ex. Unión Soviética, México y los Estados Unidos.

En los comienzos de la década de los 90's la capacidad geotermoeléctrica del mundo se estimó en 6,000 MW representando un pequeña pero no insignificante "nicho" en el mercado de generación de energía eléctrica.

Podemos hacer referencia de dos significativos casos de aprovechamiento de este recurso

○ **Estación de energía geotérmica Hatchobaru**

La central Kokonoe en Oita, Kyushu, es la mayor área de generación eléctrica geotérmica en Japón. Está abastece a tres estaciones de energía geotérmica comercial, con un total de 147.5 MW. A la compañía de energía eléctrica de Kyushu le pertenece la estación de Otake de 12.5 MW que opera desde 1967; la estación de Hatchobaru de 110 MW (la más grande estación de energía geotérmica en Japón); y la estación Takigami de 25 MW la cual comenzó a operar en 1996. Adicionalmente hay dos plantas de prueba de pequeño y mediano tamaño operando para la Organización para el Desarrollo de Tecnología Industrial y de Nuevas Energías (NEDO) para el ciclo binario de generación de energía [4].

El gobierno de Kokonoe intenta explotar tanto como sea posible el agua caliente geotérmica de esta estación de energía, junto con la energía térmica de muchos manantiales de agua caliente que existen en el poblado, para desarrollar la agricultura el turismo, y para conservar el ambiente.



La Estación Hatchobaru



IMAGEN 17: Estación de energía geotérmica en Hatchobaru

Como ya se menciona es la estación de energía geotérmica más grande de Japón, la cual consiste de dos unidades, cada una con una producción de 55 MW. La energía es generada empleando un sistema de doble flash, que fue desarrollado por la Compañía Kyushu Electric Power en cooperación con Mitsubishi Heavy Industries.

En este sistema, el vapor y el agua caliente se ventean fuera de los pozos geotérmicos pasando a través de tubos que transfieren flujo a dos fases hacia el separador de vapor, donde primero el vapor (de alta presión) es separado del fluido de mezcla. El agua caliente remanente fluye en el flash, donde este se expande bajo presión reducida y genera vapor secundario (de baja presión). El vapor primario y secundario extraído en este paso es conducido a una turbina conectada a un generador para generar energía eléctrica. El sistema de doble flash puede incrementar el rendimiento en un 20%.

La estación de Hatchobaru es operada a control remoto desde la estación Otake que se encuentra a 2 km de la primera. El rendimiento del generador, la rotación de la turbina, y el vacío en el condensador son todos controlados a control remoto usando un equipo de tele-control.



○ **Planta de energía geotérmica Los Géiseres**

El empleo de la tecnología ADCC, desarrollada por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable del Departamento de Energía de los Estados Unidos (NREL), la Compañía Gas y Electricidad del Pacífico (PG&E) mejoro grandemente la operación de una de sus plantas de energía geotérmica en Los Géiseres, en California -el mayor complejo de energía geotérmica del mundo.

La instalación de la tecnología en la Unidad No.11 en los Géiseres mejoro la eficiencia en la producción de energía por un 5%, incrementando la capacidad potencial de la planta en un 17%, y redujo los requerimientos para reducir las emisiones de sulfuro de hidrógeno a la mitad.

La tecnología ADCC

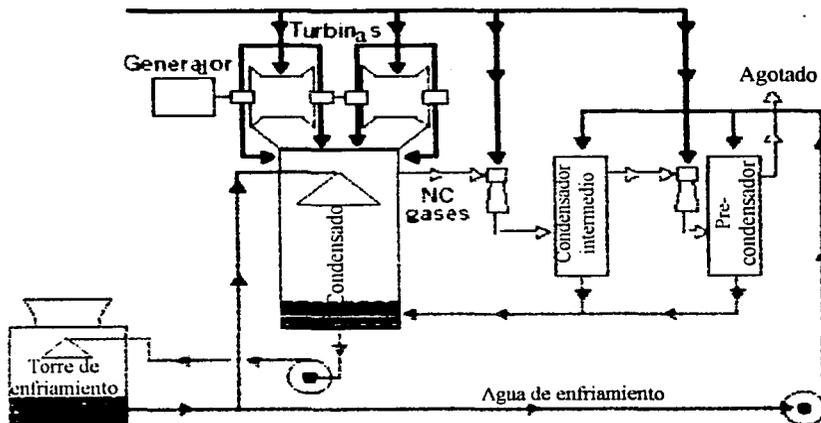
La condensación del vapor agotado es una parte clave del ciclo de potencia en las plantas de generación de electricidad. El condensador de contacto directo mezcla agua fría con el vapor agotado en una cámara abierta para condensar el vapor de una planta de energía eléctrica en vez de circular el vapor a través de tubos refrigerantes. La mayoría de los condensadores de contacto directo tienen solo platos perforados del lado de la cámara brindando una superficie para la condensación.

Un modelo de computadora evalúa el funcionamiento térmico de posibles estructuras empacadas, permitiendo la rápida identificación del empaque óptimo para un condensador en una planta de energía en particular. Esto, es importante para las plantas geotérmicas, que emplean vapor con un alto contenido de gases reactivos los cuales no pueden ser condensados, el programa de computadora también modela las reacciones químicas de estos gases disueltos en el vapor agotado.



Las investigaciones del condensador se iniciaron durante 1980 como parte de un programa para el desarrollo de la conversión de la energía térmica de los océanos (OTEC). La tecnología OTEC se basa en pequeñas diferencias de temperatura de cualquier forma de generación de energía térmica, fue crítico conseguir el máximo funcionamiento del proceso de condensación. Las investigaciones condujeron a un gran número de experimentos y la construcción de modelos analíticos para comprender las características importantes del proceso de condensación y construir mejores condensadores de contacto directo como fuera posible.

FIGURA 12
DIAGRAMA DE FLUJO DE LA UNIDAD CON TECNOLOGIA ADCC



3.1.4 Hidroenergía.

La hidroenergía es quizás la forma más antigua de aprovechamiento de energía para el desarrollo de las actividades productivas de la humanidad. Las ruedas hidráulicas se utilizaron desde el tiempo de los antiguos romanos para actividades como la molienda de granos o simplemente como fuerza mecánica.



A principio del siglo XX proliferaron en Europa, las centrales hidroeléctricas *pequeñas* con capacidades instaladas de varias decenas o centenas de kW. Después de la segunda guerra mundial se dio un gran auge al desarrollo de la hidroelectricidad de gran capacidad, con centrales del orden de los cientos de MW. La construcción de minicentrales se siguió dando principalmente en varios países de Europa y en algunos de Asia. A la fecha, existen en todo el mundo cerca de 35,500 MW de potencia global instalada en pequeñas centrales. Para principios del siglo XXI se esperaba contar con alrededor de 38,700 MW. De estos totales, China cuenta con la mayor capacidad instalada del mundo con alrededor de 14,300 MW, lo cual representa aproximadamente 43% del total, para la capacidad actual y la que se encuentra en construcción y planeada. A éste le siguen Japón y Estados Unidos con 3,381 y 3,019 MW instalados respectivamente. De los países latinoamericanos Brasil se encuentra a la cabeza con alrededor de 950 MW.



IMAGEN 18: Esta tecnología ha sido utilizada en Europa por cientos de años. Recientemente, esta tiene de nuevo atractivo interés, debido a las ventajas que ofrece en términos de cero emisiones, bajos costos de operación, y uso de los recursos naturales



3.1.5 Energía de los océanos.

A pesar de que el desarrollo tecnológico para el aprovechamiento de este recurso energético no es lo suficientemente maduro se cuenta con muchos proyectos de investigación y desarrollo respaldados con inversiones considerables como lo muestra el siguiente ejemplo.

o Programa de energía de las olas

El Programa Danés de Energía de las Olas es resultado de un acuerdo político en el Parlamento Danés en 1996 para desarrollar y promocionar nuevas fuentes renovables de energía y opciones de almacenamiento. El fin es desarrollar la tecnología que permitan instalaciones futuras a escalas de MW y GW. Las plantas de energía de las olas abastecen el 15% del consumo danés de electricidad.

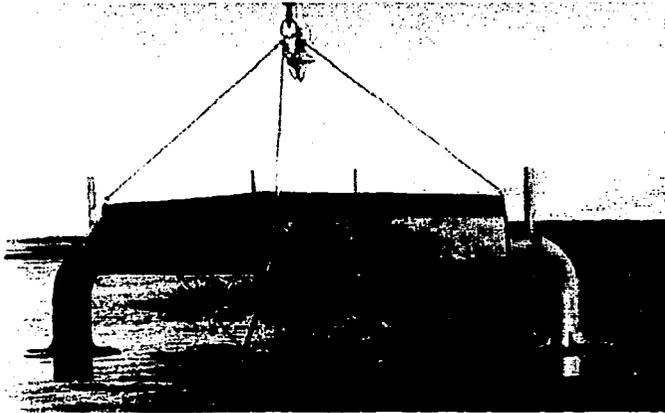


IMAGEN 19: Un modelos de WavePlane para producción de energía, escala 1:5, es el resultado de una prueba realizada el verano de 1999

El Programa Danés de Energía de las Olas tenía un presupuesto de 20 millones de dólares para los años de 1998 y 1999 y fue administrado por la Agencia Danesa de Energía, en cooperación con un panel consultivo de expertos y la Asociación Danesas de Energía de las Olas

(DWEA). La Asociación, se formó en 1997 y tenía 120 miembros. Esta promueve reuniones y disemina información para sus miembros y para las partes interesadas en la energía de las olas [10].



Con base en una evaluación de los resultados obtenidos, se planteó un segundo programa de dos años respaldados por 20 millones de dólares adicionales.

Un informe publicado por la Agencia Danesa de Energía en el julio 1999 muestra que el Programa de Energía de las Olas experimento un rápido progreso con los primeros 8 millones de dólares otorgados para el desarrollo y prueba de más de 20 proyectos.

Para explotar la energía de las olas comercialmente, se requiere de un mayor desarrollo técnico para obtener dispositivos que sean lo suficientemente resistentes para soportar grandes olas y así tener un abasto de energía eléctrica de forma regular y estable.

En los primeros dos años del programa (1998-1999), se dio prioridad a los proyectos más reciente (pre-prototipo). Varios proyectos han alcanzado ahora la optimización final, tales como los cuatro dispositivos que se describen brevemente en los paneles sombreados.

El programa provee apoyo económico para las pruebas iniciales apropiadas de nuevas ideas. Esta prueba puede tener lugar en instalaciones terrestres de prueba o en el mar. Un sitio de prueba se ubica en Nissum Bredning, Jutland, cerca del centro para la Energía Renovable. El centro provee instalaciones para mejoramiento y construcción de modelos, asistencia con medidas de avance y diseminación de resultados.

Bajo el Programa Danés de Energía de las Olas, actualmente se están desarrollado y probado un cierto número de proyectos. Uno de estos conceptos podrían ser el resultado de una máquina de energía de las olas técnicamente y económicamente sustentable que puede competir con otras fuentes renovables de energía tales como energía del viento y energía solar.



▪ **Dragón de ola**

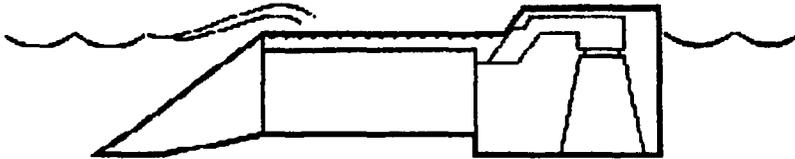


IMAGEN 20: Dragón de ola para generación de energía de las olas

El Dragón de Ola opera casi como una planta de energía flotante en aguas profundas. Las olas son capturadas por una gran plataforma entre dos reflectores de concreto flotantes de 227 m a partir de la cual las olas enfocan en un depósito flotante de 2,600 m³. Desde el depósito las contracorrientes de agua a través de las turbinas producen energía a una velocidad de 100 m/s.

Un modelo a escala 1:50 ha sido probado en la Universidad de Alborg. Se espera que la plataforma final sea de un tamaño de 100 m x 50 m x 15 m, con un reflector de longitud de 100 m y que el dispositivo genere de 6 a 10 GWh de electricidad al año.

El siguiente paso era probar un modelo a escala 1:3 o efectuar una gran prueba en este año (2002). El Dragón de Ola era el único proyecto Danés que participaba en el Programa de Generación de Energía de las Olas de Estados Unidos.

▪ **El Cisne DK3**

Este proyecto es construido en base a un concepto llamado "Back Duct Bouy" (conducto hacia atrás de curva flotante) que se originó en Japón pero su desarrollo ha sido fomentado en China y ahora también en Dinamarca.



El dispositivo consiste en un flotador que lleva un tubo en forma de L. La parte horizontal del tubo se sitúa por debajo del flotador y esta abierto en su parte final. La parte vertical se cierra en la parte que sale a la superficie y se conecta a una turbina de aire que se activa cuando el dispositivo es movido por las olas. Las pruebas se completaron en el Instituto Danés de Hidráulica.

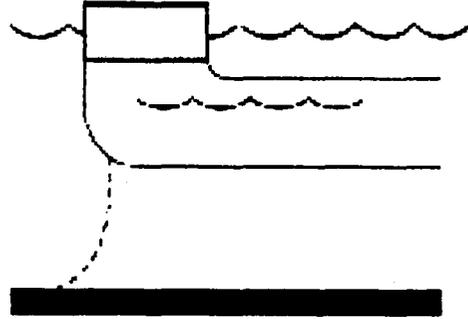


IMAGEN 21: El Cisne DK3

▪ **Amortiguador puntual (o absorbedor)**

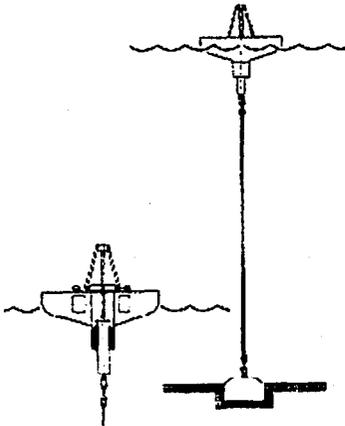


IMAGEN 22: Amortiguador puntual

Un flotador sobre la superficie del mar es conectado a un ancla de “copa de succión” con un soga flexible de poliéster. Entre la soga y el flotador está un actuador hidráulico bombeando fluido hacia un acumulador hidráulico de alta presión. El golpe de retroceso es proveído por el fluido hidráulico de un acumulador de baja presión. Como las olas activan el flotador, se crea una diferencia de presión entre los acumuladores de alta y de baja presión. Esta diferencia de presión impulsa a un motor hidráulico y a un generador.

Un modelo a escala 1:10 con un diámetro de flotador de 1 m fue probado en el Instituto Danés de Marina. Si tuvo éxito, un prototipo con un diámetro de 5 a 6 m de flotador y con un rendimiento entre 20-30 kW se pretendía desarrollar en el año 2000.



El objetivo era desarrollar un amortiguador puntual con un flotador de 10 m de diámetro y con un rendimiento cercano a los 120 kW.

- **WavePlane**

El WavePlane es un dispositivo flotante en forma de cuña (triangular), que se fija a un ancla en el punto central. Montada sobre el dispositivo es una especie de cavidad en forma de embudo que siempre encara a las olas. El agua pasa a través del embudo hacia el interior de con un flujo forma de espiral, creando un troqué que es convertido a energía mecánica por una turbina especial. La energía puede usarse para generar electricidad o para oxigenar el agua de ríos y lagos contaminados.

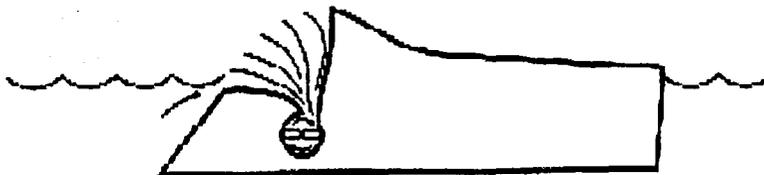


IMAGEN 23: WavePlane. Dispositivo para generar energía eléctrica a partir de las olas

3.1.6 Energía Solar

- **Calentadores solares planos**

Los calentadores solares planos son una de las tecnologías solares más simples, más probadas y que tiene un gran potencial de aplicación en todo el mundo. Uno de los casos más relevantes es el de Israel, donde se usa la energía solar para calentamiento de agua desde hace más de 50 años y donde, a partir de 1980, la legislación hizo obligatoria la instalación de sistemas solares para calentamiento de agua en todas las nuevas construcciones residenciales.



Hoy en día, la tecnología solar térmica experimenta un fuerte crecimiento en Europa. Desde 1993, se tiene un crecimiento de 14.8% anual en el área instalada de colectores solares planos. Tres países, Alemania, Grecia y Austria, se destacan de los demás. En 1998, estos países instalaron más de 150,000 m² de colectores solares. Alemania es el líder, ya que instaló en el año mencionado 470,000 m², en más de 50,000 instalaciones colectivas e individuales para calentamiento de agua. En términos relativos, es decir, número de colectores solares por cada mil habitantes, Grecia y Austria superan a Alemania. En 1999, en México se instalaron 35,000 m² de colectores solares, principalmente para el calentamiento de agua en albercas, registrándose un ligero incremento de 8% respecto a 1998 y de 40% respecto a 1997.

TABLA 20
ÁREAS INSTALADAS DE COLECTORES SOLARES PLANOS (1998)

PAÍS	ÁREA DE COLECTORES SOLARES INSTALADOS EN 1998 (M ²)	ÁREA DE COLECTORES SOLARES INSTALADOS POR CADA 1,000 HABITANTES (M ²)
Alemania	470,000	35
Austria	195,000	240
Grecia	153,900	260
Francia	28,000	14
España	19,440	11
Italia	18,000	5
México	32,400	0.33

Fuente: EurObservÉR; para México, Balance Nacional de Energía (1998). ANES para datos sobre México

1. Sistemas de concentración de radiación solar

La generación fototérmica de electricidad, a través de sistemas que concentran la energía solar, es actualmente una de las aplicaciones más extensas de la energía solar en el mundo, ya que se tienen 354 MW instalados en sistemas que utilizan más de 2.5 millones de m² de concentradores solares en 9 plantas de Solar Energy Generation System, SEGS, el cual es un producto de la compañía de Luz de Israel.

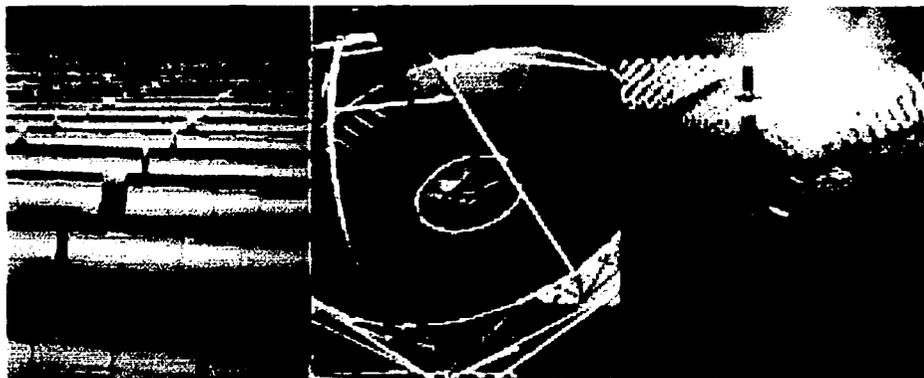


IMAGEN 24: Tres diferentes tipos de concentradores solares. De canal y plato parabólico y de torre central

3. Fotovoltaica

La tecnología relacionada con la generación de electricidad por procesos fotovoltaicos ha tenido grandes avances. Su costo unitario de potencia se ha reducido más de 20 veces desde 1973, al pasar de 200 a 10 dólares por watt. Esto ha permitido que el uso de esta tecnología se generalice y que se tengan expectativas de mayores reducciones en su precio, lo que la coloca en el umbral de aplicaciones masivas.

En 1999, la producción de celdas fotovoltaicas a escala mundial prácticamente alcanzó los 200 MW por año, lo que representó un crecimiento de 29% con respecto a 1998. Y en 1999, la capacidad instalada acumulada en los países de la Comunidad Europea excedió los 123 MW. Actualmente, e impulsado por un mercado nacional dinámico, Japón supera a los Estados Unidos como líder productor de celdas fotovoltaicas con 80 MW por año.



TABLA 21
CAPACIDAD ELÉCTRICA INSTALADA EN MW DE CELDAS FOTOVOLTAICAS

PAIS	CAPACIDAD INSTALADA EN EL FINAL DE 1998	CAPACIDAD INSTALADA EN EL FINAL DE 1999 *
Alemania	53.9	66.2
Italia	17.68	18.5
Francia	8.0	10.0
España	8.0	9.0
Austria	2.86	3.46
Resto de la CEU	6.54	7.42
Total CEU	103.46	123.58
EEUU	127.9	147.0
Japón	133.3	190.0
México	12.0	12.9 **

(*) Estimado

Fuente: EuroObserv'ER y ANES (para datos sobre México)

Algunos importantes dispositivos desarrollados para el uso de esta fuente de energía son:

o **Concentrador parabólico**

La Universidad Nacional Australiana (ANU) desarrollo un dispositivo experimental que consta de un concentrador solar parabólico con 400 m² de espejos. Produce vapor sobrecalentado en la caldera de plato solar y se expande en una maquina de vapor acoplado a un generador de 50 kW. El sistema ha producido unos 60 MWh de energía para la red local durante los últimos años [3].

Antecedentes

Los investigadores de energía solar de la ANU han enfocado sus actividades de investigación y desarrollo en el sistema colector solar de plato parabólico basándose en su costo potencialmente bajo y su versatilidad para ser usado a gran escala.

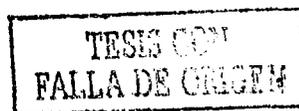




IMAGEN 25: Concentrador de plato parabólico con la caldera solar en el punto focal

Tecnología

Esta tercera generación de concentradores solares parabólicos, "SG3", se caracteriza por una apertura hexagonal montada en una red de nodos esféricos sobre un marco tubular de acero. El marco del plato parabólico se engancha a la base del mecanismo de rastreo montado sobre una viga de concreto reforzado. Cincuenta y cuatro elementos reflectores triangulares compuestos de acero, espuma de poliuretano y vidrio plateado, son adjuntos al marco del plato para concentrar los rayos del sol.

El sistema de rastreo del plato se efectúa alrededor de sus ejes horizontales y verticales empleando martinets hidráulicos los que son controlados por una computadora que calcula la posición precisa del sol dando un alto grado de exactitud.

En la cima del punto focal de la casa del concentrador una caldera solar proporciona 400 kWh de vapor. La caldera tiene un rendimiento máximo de 120 g/s de vapor sobrecalentado a una temperatura cercana a los 460°C y una presión de 4.2 MPa. El vapor sobrecalentado es entubado hacia una máquina de vapor con cuatro cilindros en flujo unidireccional para su expansión. El motor se conecta a un generador asíncrono de 65 kVA. El plato pesa alrededor de 16.8 toneladas con un peso específico por apertura de aproximadamente 42 kg/m².



TABLA 22
PRINCIPALES ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA UN CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO

Reflector	Área de apertura (neta)	400 m ²
	Diámetro medio del colector	22.74 m
	Longitud focal	13.1 m
	Ángulo medio	46.6°
	Número de paneles	54
	Reflectividad del espejo (nuevo)	86%
Rastreo	Acruador	Hidráulico
	Elevación	0° a +90°
	Azimuth	+ ó - 270°
	Indicar error	<, =, + ó - 2 mrad
	Límite ya indicado de la velocidad del viento	80 km/h
	Programa de posición del sol	Abrir el ciclo
Peso	Peso/radio de apertura	42 kg/m ²

Fuente: CADDET Australian National Team.

Funcionamiento

La planta de energía solar de 50 kW no ha operado en forma continua. Sin embargo, la tecnología involucrada en el sistema ha acumulado casi 20,000 horas de operación durante un período de 10 años, el desempeño global de la tecnología brinda confianza. Una amplia gama de escenarios han sido examinados, incluyendo en estado constante de operación, bajo diversas condiciones solares transitorias y en situaciones de falla. Los resultados del funcionamiento del plato concentrador en condiciones casi estables al mediodía (irradiación solar directa de 881 W/m²) se resumen en la tabla 23.

TABLA 23
FUNCIONAMIENTO DEL SG3

Energía solar interceptada por el receptor	254 kW rad
Energía solar absorbida por el agua de alimentación en el absorvedor/caldera (450°C/4.5 MPa)	231 kWth
Porcentaje de calor equivalente alimentado a la maquina de vapor	224 kWth
Electricidad bruta generada	44 kWe
Eficiencia de conversión solar neta a electricidad	11.4 %

Fuente: CADDET Australian National Team.



La conversión habría sido de 14.7% si los espejos de vidrio "low-iron" con una reflectividad de más de 94% hubiesen sido usados en vez de los espejos de vidrio "verde" convencionales de 2 mm de grueso. Una eficiencia aún mayor se lograría en áreas muy soleadas (1,000 W/m² de insolación o más). Con una conversión solar neta a electricidad de aproximadamente 30% podría lograrse para los sistemas de generación de plato múltiple y en los sistemas de generación de centrales eléctricas empleando turbinas de vapor convencionales a escala de megawatt.

Fabricación

Los costos de edificación y fabricación fueron \$0.6 millones (donde \$ es el dólar Australiano) – \$0.326 millones para el sistema colector y \$0.27 millones para el sistema de conversión de potencia– pero esto no refleja el costo potencial de una tecnología madura de producción comercial. La tecnología ha sido recientemente evaluada por un licenciatario industrial de fabricación quien estimó los costos cercanos a \$1,750/MW si se instala a una escala de 20 MW. Amortizados durante un período de 20 años, esto conduciría a costos específicos de generación de energía del orden de \$0.08–0.12/kWh, dependiendo de la elección de financiamiento y de la ubicación del sitio.

El futuro

Varios desarrollos son resultado de esta tecnología. Un proyecto de \$6.5 millones con 18 "PowerDishes" alimentará vapor a una turbina de 660 MW en una planta eléctrica que emplea actualmente² carbón como combustible para junio del 2000. Esto proveerá el equivalente a 2.6 MW de energía solar térmica a la red.

Un sistema colector solar con receptor fijo está siendo desarrollado, el cual puede facilitar muchas aplicaciones termoquímica, particularmente aquellas que involucran gasificación solar de materiales carbónicos, tal como carbón y biomasa, y el empleo solar para reducción directa de minerales, tales como zinc y óxidos de hierro.

² El artículo fue publicado en 1998



La ANU también explora el uso a gran escala, de los sistemas colectores solares de plato parabólico para una operación continua de veinticuatro horas que usa amoníaco en un ciclo cerrado termoquímico de almacenamiento de energía.

3.2 APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

En México, existen actividades tendientes al aprovechamiento de las FRE desde hace ya varias décadas, aunque es particularmente significativo el avance e interés de instituciones e industrias en las últimas tres décadas, periodo en el que se han desarrollado investigaciones y diversos proyectos, prototipos, equipos y sistemas para el mejor aprovechamiento de las energías renovables. En este sentido, son importantes las actividades de universidades e institutos, nacionales y regionales del país. Esta comunidad se ha unificado en la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) a través de sus semanas y reuniones nacionales celebradas anualmente desde 1977.

Por otro lado son importantes los trabajos para la manufactura y comercialización de equipos y sistemas relacionados con las energías renovables, en donde resalta la gran cantidad de fabricantes de calentadores solares planos en el territorio nacional.

Finalmente, para analizar y plantear estrategias nacionales sobre energía renovables, la Secretaría de Energía se ha apoyado en la Conae, quien a su vez, estableció una alianza con la ANES, y juntas han operado en Consejo Consultivo para el Fomento de las Energías Renovables (Cofer).

En nuestro país las FRE que destacan actualmente en su aprovechamiento son:



3.2.1 Eoloenergía

En nuestro país existe desarrollo importante en relación con la generación de electricidad a partir del viento. En particular resalta el trabajo del IIE. En el sector privado, destaca la capacidad de los diseños y manufacturas nacionales de este tipo de equipos.

En agosto de 1994, la CFE puso en operación una central eoloeléctrica, de 1.5 MW de capacidad en la Venta, Oaxaca. En diciembre de 1998, entró en operación la central eólica Guerrero Negro que se ubica en la península de Baja California Sur y tiene una capacidad de 600 kW. Así mismo, en algunos estados de la República tales como Chihuahua y Sonora, se utilizan sistemas eólicos para bombeo de agua denominados aerobombas, muy útiles para localidades rurales aisladas de la red de suministro, o cuyas condiciones geográficas impiden la electrificación convencional. Finalmente, y desarrolladas con capital privado, se tienen 5 permisos de la comisión reguladora de Energía, CRE, para instalar 148 MW a partir de energía eólica.

3.2.2 Hidroenergía

Según los datos proporcionados por la CFE el potencial hidroeléctrico aprovechado actualmente para generación de electricidad asciende a los 9,121 MW en 77 centrales con una generación anual de poco más de 20,000 GWh al año. El potencial estimado para centrales con capacidades instaladas menores a los 10 MW se sitúa en los 3,250 MW. Actualmente se han instalado 34 centrales dentro de este rango de capacidad, en los que se ha instalado una capacidad total de 109 MW, generándose anualmente 479 GWh.



TABLA 24
RESUMEN DE CENTRALES HIDRAÚLICAS EN OPERACIÓN EN MÉXICO

INSTITUCIÓN O EMPRESA	NO. CENTRALES	NO. UNIDADES	POTENCIA INSTALADA (MW)	(%)	GENERACIÓN MEDIA (GWh)	(%)
CFE	13	30	21.7	28.4	70.3	32
LyFC	9	14	11	14.4	32	14.4
Independientes	61	77	43.5	57	118	53.5
TOTAL	83	121	76.3	100	220.2	100

Fuente: Estudio de la situación actual de la minihidráulica nacional y potencial en una región de los estados de Veracruz y Puebla, Conae, 1997.

3.2.3 Energía Solar.

Como ya habíamos mencionado con anterioridad acerca del conocimiento que se tiene de la energía solar en nuestro país indica que más de la mitad del territorio nacional presenta una densidad en promedio energética de 5 kWh por metro cuadrado al día. Esto significa que para un dispositivo de colección y transformación de energía solar a energía eléctrica que tuviera una eficiencia del 100 %, bastaría un metro cuadrado para proporcionar energía eléctrica que a un hogar mexicano promedio que consume 150 kWh por mes. De manera más precisa, considerando eficiencias de 10% para los dispositivos en el mercado, se puede decir que con 200 millones de m² de área de colección de radiación solar (un área de 14.2 km por lado) se podría abastecer de electricidad a todos los hogares mexicanos.

1. Calentamiento solar

En México se fabrican calentadores solares planos desde hace más de cincuenta años y en la actualidad existen cerca de 50 fabricantes registrados de estos equipos. Igualmente, la investigación sobre este tema es amplia y actualmente hay un mayor número de ingenieros y técnicos que pueden diseñar este tipo de sistemas. Se ha reportado un crecimiento de la producción de calentadores solares planos desde 1997,



lográndose para 1999, 35,000 m² de este tipo de sistemas, la mayoría de ellos instalados en la Ciudad de México, Guadalajara, Cuernavaca y Morelia.

2. Sistemas térmicos de concentración solar.

En México existen instalaciones de este tipo de colectores, resaltando la construida en el Instituto de Ingeniería de la UNAM a principios de los ochenta y que ha sido la base para investigaciones posteriores en el país. Actualmente esta tecnología se desarrolla en México en cuando menos dos centros de investigación aplicada y en una universidad: el Instituto de Investigaciones Eléctricas, IEE; el Centro de Investigaciones en Energía, CIE, de la UNAM y en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México.

3. Fotovoltaicos

En el contexto nacional. Los pioneros en el desarrollo de tecnología de generación de electricidad, a partir de celdas fotovoltaicas, fueron investigadores del Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), quienes desarrollaron una pequeña celda que provee de electricidad a un número significativo de aulas dentro del sistema nacional de tele-secundarias.

A través de un esfuerzo del gobierno federal dentro del programa Solidaridad, y mediante la participación de instituciones como CFE, y los gobiernos estatales y municipales, entre otros, se instalaron en México alrededor de 40,000 sistemas fotovoltaicos, y otros 10,000 por la iniciativa privada, para proveer principalmente a las zonas alejadas de la red eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos en México se aplican ampliamente en sistemas de comunicación telefónica rural. La capacidad instalada en sistemas fotovoltaicos en México, según datos de la ANES, fue de 0.9 MW para el año de 1999, con lo que acumulado, hasta el mismo año, es de 12.92 MW.



3.3 LA DIVERSIFICACIÓN ENERGÉTICA EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y SUS IMPLICACIONES EN EL DESARROLLO SUSTENTABLE DEL PAIS.

Como podemos apreciar del punto 3.1, la iniciativa, desarrollo e implementación de las tecnologías relativas al empleo de las fuentes renovables de energía (FRE), además del control y disposición de residuos contaminantes está siendo conducido por los países más avanzados económica y tecnológicamente, quienes a la postre serán los propietarios de las licencias y patentes de uso. Licencia y patentes por la que los países subdesarrollados y en vías de desarrollo tendremos que pagar para incorporarlas a las industrias de bienes y servicios.

Las expectativas de desarrollo de tecnología mexicanas para el uso de las FRE son sumamente modestas o carentes, en parte porque las iniciativas de investigación en el área son sumamente costosas y porque sencillamente no contamos con la infraestructura material y humana para abordar tal empresa. Sin embargo, México parece tener brillantes perspectivas por varios hechos:

- a) El país cuenta con vastos recursos naturales y renovables
- b) Enfrenta serios problemas de contaminación atmosférica debido principalmente a la enorme y contaminante planta vehicular
- c) El 60% de la energía eléctrica es generada por combustión de combustibles fósiles y
- d) Contamos con reservas de petróleo, gas natural y carbón que satisfarán la demanda de energía durante el proceso en el que serán substituidos.



El acelerado avance de la tecnología asociada al aprovechamiento de las energías renovables, su consiguiente abaratamiento y la necesidad de cuidar el ambiente han ubicado a las FRE como alternativas energéticas al ser consideradas en los planes energéticos y ambientales, presentes y futuros, de varios países desarrollados en el mundo.

Por lo tanto, si el país cuenta con un potencial muy importante en cuestión de recursos energéticos renovables, cuyo desarrollo le permitiría contar con una mayor diversificación de fuentes de energía, ampliar la base industrial en un área que es de valor estratégico para el futuro, y al mismo tiempo atenuar los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales, debería darse un replanteamiento de la importancia que pueden tener el uso de las FRE para crear sistemas sustentables.

Por ello se propone que en México se debe dar un mayor impulso a la diversificación energética basada en el uso de las FRE, aprovechando al máximo los recursos geotérmicos, las fuentes hidroeléctricas y eólicas del país, para lo cual se requiere de una evaluación mas precisa de los recursos, principalmente solar y de biomasa, contar con personal capacitado en esta área, investigación y desarrollo tecnológico para su uso masivo de forma segura, confiables y con impactos ecológicos reducidos integrándolos directamente en los sectores residencial, público e industrial, integrando los esfuerzos del gobierno, instituciones educativas y a la misma industria privada para el financiamiento de proyectos. Además de realizar acciones de divulgación y promoción de los beneficio que implicaría el empezar a cambiar la estrategia energética.

Por ejemplo los grandes beneficios económicos, sociales, tecnológicos y ecológicos podríamos enumerarlo de la siguiente forma.



1. Avance global

El asunto de la interdependencia energética entre México, Estados Unidos y Canadá es un tema de primer plano pues los mercados energéticos de las tres naciones ya están, de hecho entrelazados y una vez que se haya instalado el tendido eléctrico, los oleoductos y los gasoductos, será imposible volver a tras por el contrario, este mercado energético interdependiente de América del Norte continuará evolucionando por lo que México debe implementar mejores políticas de eficiencia energéticas, impulsar la investigación y desarrollo tecnológico de nuevas fuentes de energía limpias y eficientes, y contar con los recursos financieros y humanos para enfrentar este gran reto de tal forma que el país asegure su competencia global.

2. Seguridad Nacional

México no debería fundar su estrategia energética en los combustibles fósiles pues estos al ser recursos no renovables tarde que temprano se agotarán debilitando así su fortaleza nacional. El país puede tener energía suficiente con el empleo de las FRE, y responder así a la creciente demanda energética debido a dos principales razones (a) el continuo incremento poblacional, y (b) la creciente demanda de la energía que obedece a mejoras paulatinas en la calidad de vida. Asegurar el abasto energético a partir de fuentes virtualmente inagotables de energía permitirá a nuestro país en el futuro no muy lejano por cierto, ser dependiente energéticamente de otros países.

3. Trabajo

Con la conversión de las FRE se crearía millones de trabajos permanentes con la construcción de plantas, fabricando partes, vendiendo equipo, y desarrollando la tecnología. Todos invertirían en nuestro país estimulando el crecimiento y generando fuentes de trabajo.



Aunque siendo realistas, el papel de los investigadores y tecnólogos mexicanos será, en gran medida, de adaptación tecnológica y de solución de problemas operacionales. Sin embargo, no debemos ser conformistas y esperar a que todos los desarrollos tecnológicos lleguen del extranjero; si bien es cierto que no contamos con la capacidad de desarrollar iniciativas de la magnitud que se presentaron anteriormente (punto 3.2), aún existen amplias áreas de desarrollo en las que se puede trabajar, tanto para reducir la factura de importación tecnológica como para desarrollar tecnologías propias e incluso exportarlas a países en condiciones similares a las de México, o como insumos a los países avanzados.

4. Abasto confiable y oportuno

Algún día, los combustibles fósiles se agotarán. Las FRE como la solar son renovables y, por lo tanto, ilimitadas. Esto puede resolver los problemas de abastecimiento de energía hoy, además de que asegurarán el abasto de energía de nuestra nación mañana sin poner en riesgo los intereses de futuras generaciones.

5. Ecología

Los combustibles fósiles involucran daños ambientales siendo causados por estos y por sus productos de combustión. Las tecnologías de extracción, transporte, procesamiento y particularmente su uso final, tienen impactos negativos en el medio ambiente, los cuales causan directa o indirectamente efectos en la economía.

En esta etapa de desarrollo de México, es una necesidad tomar acciones firmes para minimizar el cambio climático y la lluvia ácida. El conocer el papel que pueden jugar las energías renovables en disminuir los mencionados impactos ambientales es de vital importancia.



Un estudio realizado con el propósito de determinar el impacto ambiental de las energías renovables que pueden implementarse en el Sistema de Energético Mexicano para el año 2025, particularmente en el sector de la transformación y de uso final, basado en una completa revisión del potencial económico y técnico de las energías renovables[9].

Tres escenarios fueron desarrollados para México de 1996 al año 2025. Las hipótesis comunes para los tres escenarios son: (1) Un crecimiento económico constante con un incremento anual de 4% de PIB. (2) Un contante crecimiento de la población del 1.2% resultando en 130 millones de habitantes para el año 2025. (3) Una demanda constante de energía para el uso final. (4) Un crecimiento de la demanda energética del 4% por año como el PIB. (5) En la fase de transformación, la capacidad instalada es incrementada como lo planean las agencias del gobierno mexicano hacia el año 2004. (6) Después del 2004, la razón del crecimiento anual de la capacidad instalada es considerada constante (3.4%). (7) Finalmente, el 3% del nuevo abasto de electricidad es dedicada a satisfacer la demanda pico de la energía por medio de maquinas de combustión interna que queman diesel.

Se tiene tres escenarios. En la base del escenario *E1*, productos derivados del petróleo, particularmente combustóleo residual, es el combustible más consumido en el sector de generación de energía. En este escenario, el consumo de combustóleo tiene una razón de crecimiento anual (RCA) de 16.9%, considerando el sistema energético total. En el sector energético, la capacidad instalada de instalaciones las cuales emplean combustóleo se incrementa de 14,283 a 66,849 MW para el año 2025, representando el 70% de la capacidad total instalada.



En el segundo escenario *E2*, el gas natural (GN) es el combustible privilegiado. Toda la nueva capacidad instalada es realizada empleando tecnologías de GN, dando preferencias a los ciclos combinados. Este escenario refleja la nueva ruta en consumo de combustibles en el sector energético, el cual fue establecido como parte de la reforma de la industria eléctrica en 1992. En este escenario, el GN tiene un RCA de 5.5%. En términos absolutos esta expansión permite un incremento de 1.7 a 8.3 EJ en 2025, representando un 50% del consumo total.

En el tercer escenario *E3*, los recursos renovables son usados para satisfacer la demanda adicional de energía hacia el año 2025. En este escenario, los cambios son hechos en la estructura del uso final y en el consumo industrial de energía. Una fuerte participación de las energías renovables en el sistema energético mexicano es posible desde un punto de vista técnico, económico e institucional. También en el escenario *E3*, el crecimiento en el uso de las energías renovables con un RCA de 7.2% y el uso del hidrogeno se incrementa con un RCA de 22%.

La figura 13 muestra el consumo de energía primaria en cada escenario. En el escenario *E2* las necesidades de energía para satisfacer la demanda es menor que en los otros escenarios debido a la gran eficiencia del GN en la alimentación de las plantas de energía de ciclo combinado (por arriba de 50%). Los escenarios *E1* y *E3* tienen eficiencia de energía globales muy similares.



▪ Resultados

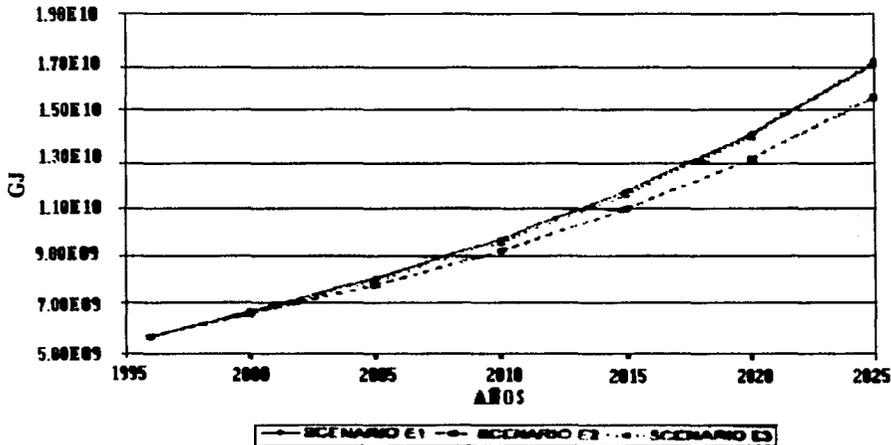
- Emisiones de GEI's

Emisiones de CO₂

La figura 14 muestra que el mejor escenario para la reducción de emisiones de CO₂ es el basado en el uso de las energías renovables E3. Este escenario presenta 32% de menos emisiones que el escenario base.

El escenario E2 consume menos energía, pero tiene solo 19% de reducción en emisiones de CO₂. Las emisiones de E3 son solo 2.1 veces mayores que las emisiones del año base con una RCA de 2.5%. E2 tiene un RCA de 2.5 %, con 2.5 más emisiones que en 1996. El peor escenario es E1, tiene un RCA de 3.8% y 3.1 veces más emisiones que el año base.

FIGURA 13
CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA EN MEXICO
ENTRE 1996 Y 2025



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Emissiones de CH₄

El metano es el segundo más importante GEI. La figura 15 muestra que *E3* es el mejor escenario produciendo 17% menos emisiones que el escenario base. Mientras que, *E2* produce 27% más emisiones de CH₄ que el escenario base. Las emisiones en *E3* son solo de 1.7 veces mayores que las del escenario base, con una razón de crecimiento anual de 1.8%. *E2* es el peor escenario con un RCA de 3.3% y 2.6 veces más emisiones de metano que 1996. Esto es causado por una combustión incompleta del GN en las tecnologías de uso final. Finalmente *E1* produce 2 veces más emisiones de CH₄ con un RCA de 2.4%.

FIGURA 14
EMISIONES DE DIOXIDO DE CARBONO

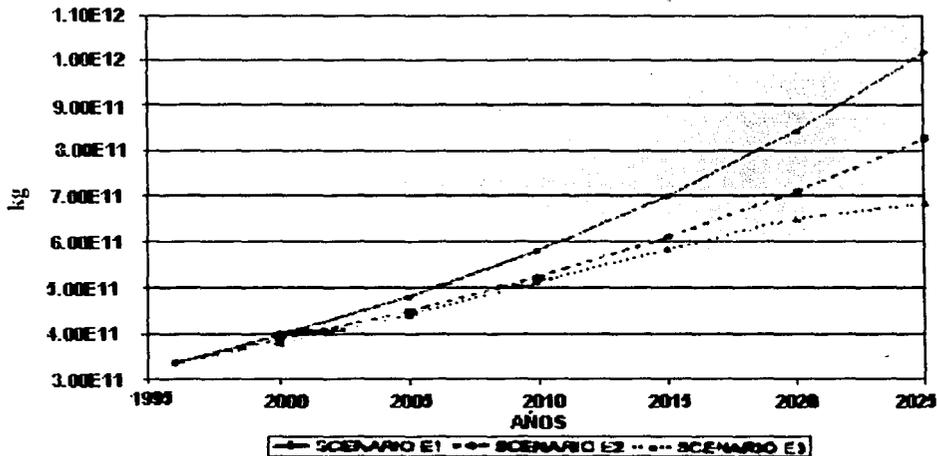




FIGURA 15
EMISIONES DE METANO

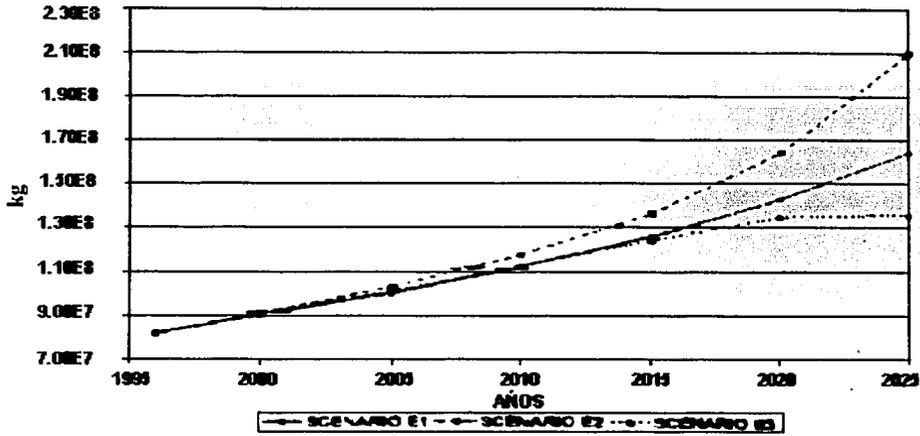
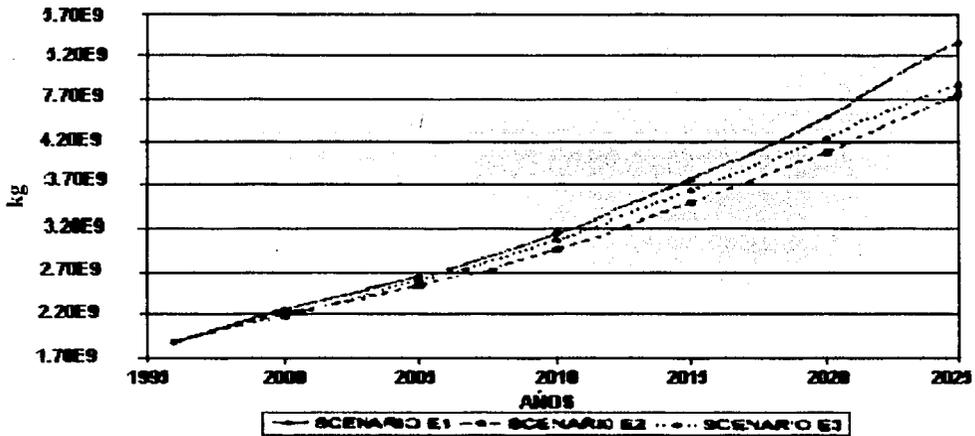


FIGURA 16
EMISIONES DE ÓXIDO DE NITRÓGENO



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



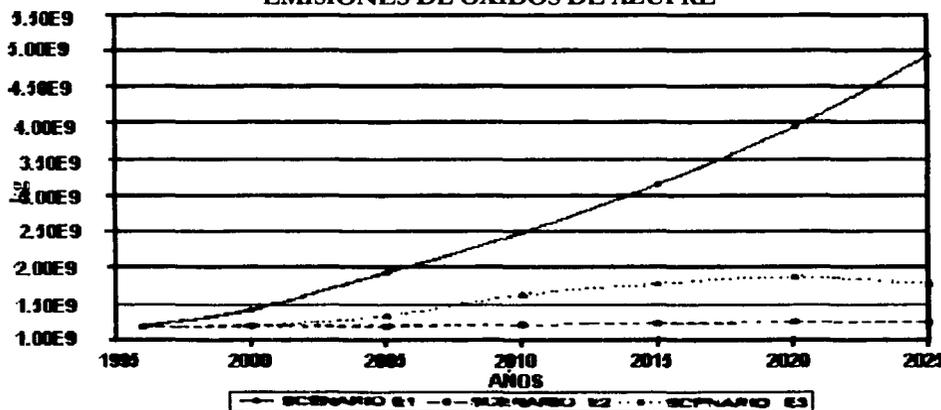
Emisiones de SO_x

La figura 17 muestra la cantidad de emisiones de SO_x de 1996 a 2025 para cada escenario. Las RCA's para los escenarios $E1$, $E2$ y $E3$ son 5.15%, 0.6% y 1.5% respectivamente.

Para el año 2025, el escenario $E1$ produce 3.6 veces más emisiones de SO_x que el escenario $E2$ y 2.75 veces más que el escenario $E3$, el cual emite 1.3 veces más que el escenario $E2$. $E1$ es el escenario con las mayores emisiones de SO_x , debido a la enorme cantidad de consumo de combustóleo.

El análisis de los indicadores de intensidad energético-ambiental muestran que las emisiones de GEI por unidad de energía consumida en el escenario $E3$, son drásticamente reducidos de 1996 a 2025: 30% en CO_2 y menos de 44% en metano. Un comportamiento similar es observado en términos de emisiones de GEI por unidad de PIB producido.

FIGURA 17
EMISIONES DE ÓXIDOS DE AZUFRE





En el caso de emisiones per capita de GEI, todos los escenarios presentan, un considerable incremento, pero el escenario E3 muestra el menor: 50% para CO₂ y 20 % para metano

6. Economía

El significado del uso de FRE tiene además fuertes implicaciones económicas y políticas. Una de las razones por las cuales muchos países se han comprometido en impulsar proyectos relacionados con su uso como respuesta a su escasez de recursos petroleros. Las fuentes renovables de energía liberarían a nuestro país en el futuro de ataduras permitiéndole así un desarrollo más libre.

En nuestros tiempos, la idea de bienestar esta basada en el crecimiento de las actividades económicas, dentro de un esquema de libre competencia, como un medio para lograr el bienestar general. Sin embargo todo crecimiento tiene un límite y tanto nuestro país como para el resto del mundo ese límite es el planeta mismo.

El desarrollo del país, el crecimiento poblacional y la globalización de la economía, nos indican que estamos por alcanzar ese límite, por lo que junto con la obtención de fuentes de energía limpias, abundante, baratas (según las tendencias actuales) y fácilmente accesibles, México puede asegurar su desarrollo económico a largo plazo.



CONCLUSIONES

La evaluación de los recursos de los que dispone el país son de vital importancia tanto para el desarrollo de estrategias generales como de proyectos específicos y si bien nuestro país cuenta con bastos recursos energéticos para su desarrollo, aún no se tiene un apoyo suficiente a los esfuerzos realizados en cuanto al aprovechamiento de las llamadas fuentes no convencionales de energía y tampoco una evaluación adecuada de estas, investigación y desarrollo tecnológico de estos recursos por lo que nuevamente caemos en la dependencia tecnológica que otros países han empezado ya a desarrollar en especial alrededor de las FRE como respuesta estratégica a los grandes problemas mundiales como son las crisis y la creciente demanda energética, los graves problemas de contaminación ambiental causados por una combustión incompleta e ineficiente de los combustibles fósiles y por su agotamiento ya que estudios de estimaciones sobre la producción de combustibles fósiles estiman que para el año 2010 estarán en la cima y posteriormente comenzaran a decaer. México como país en vías de desarrollo presenta una mayor demanda de energéticos y aunque actualmente el petróleo es el principal abastecedor de energía primaria es un recurso finito y no renovable que se agotará tarde que temprano por lo que ignorar a las energías alternativas no es una buena alternativa aunque estas no son aún viables económicamente comparadas con las tecnologías de las fuentes convencionales pero estas pueden resultar en algunos casos como el medio más barato de suministrar servicios básicos en regiones rurales donde poblaciones enteras permanecen aisladas de las redes de suministro de energía eléctrica. Un ejemplo de ello es la proporcionada por la tecnología fotovoltaica que genera electricidad a partir de los rayos solares.

Por lo tanto el país no solo requiere de mayor y más eficiente generación de energía proveniente de las mismas fuentes hasta ahora aprovechables, sino que es indispensable su diversificación para no poner en riesgo la sustentabilidad energética del país, los intereses de las futuras generaciones y así extender la vida de las reservas de petróleo.



CONCLUSIÓN GENERAL



Ante los problemas que enfrenta el sector energético del país aunando los recortes presupuestales para su desarrollo, escaso apoyo a proyectos de diversificación energética, el crecimiento poblacional y las mejoras paulatinas de los niveles de vida que implican una mayor demanda de energía eléctrica, además de los muy mencionados problemas de contaminación ambiental, México como país en desarrollo requiere redefinir sus estructuras de producción y consumo de energía para estar a la vanguardia y hacer frente a dicho procesos de desarrollo.

Si bien México cuenta con abundancia de recursos renovables y no renovables que lo colocan como un país autosuficiente desde el punto de vista energético, la explotación de estos refiriéndonos a los combustibles fósiles ha sido en forma ineficiente y dependiente (económica y energéticamente), pues a pesar de los esfuerzos que se hacen por fomentar el uso de los renovables, aun queda mucho por hacer.

El significado del uso de las FRE como fuentes de energía no se inscribe simplemente en un altruista deseo de evitar contaminar más el planeta; tiene además fuertes implicaciones económicas y políticas, una poderosa razón por la que varios países en especial los desarrollados se han comprometido en impulsar y financiar proyectos de investigación y desarrollo para el uso de estas FRE.

Las FRE en especial la eólica y la solar son abundantes en el país y en muchos otros y como no tienen fronteras, no son acaparables. Por ello, aprovechar las FRE liberaría a nuestro país en el largo plazo de fuertes ataduras y permitirle así, un desarrollo mas libre de tal manera que se tenga la capacidad de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer los intereses de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades, es decir, asegurar un desarrollo sustentable a largo plazo.



CONCLUSIÓN GENERAL



El presente trabajo cubrió los objetivos planteados al inicio de la tesis de dar a conocer las ventajas energéticas y con ellas las económicas, políticas, sociales y ambientales que se tendría como consecuencia de implementar políticas que impulsen la diversificación energética en la generación eléctrica basada en el uso de fuentes renovables de energía, además de hacer un diagnóstico del sector energético mexicano el cual presenta una profunda crisis pues su desarrollo se ve frenado por cuestiones ya mencionadas en esta tesis. Otro objetivo fue el de realizar una evaluación del potencial de todas las fuentes de energía renovables posibles tanto a nivel nacional como internacional y, difundir el conocimiento de proyectos y tecnología que actualmente esta siendo desarrollada en el ámbito internacional con el fin aprovechar las fuentes renovables de energía para generación de electricidad como principal premisa. Aquí podemos apreciar como los países preponderantemente desarrollados ya comenzaron replantear sus estrategias energéticas desarrollando e impulsando el empleo de estas fuentes.

Todo lo anterior implica que se debe dar un mayor apoyo a la diversificación energética, que debemos aprovechar al máximo los recursos del país como los geotérmicos, las fuentes hidroeléctricas y comenzar a desarrollar las tecnologías para el uso de las fuentes de energía eólica, solar, biomasa, en forma segura, confiable y de impacto ecológico reducido, pues en este aspecto nuestro país ya muestra un retraso que influirá en la falta de personal preparado, para desarrollar nuestra propia tecnología. Debemos prepararnos para no depender tecnológicamente de otros países.



BIBLIOGRAFÍA



1. A. Goetberger, "Solar Energy, the Key to a Sustainable World", Applied Solar Energy, 31, No. 1, 3-6, 1995.
2. British Petroleum, Statistical Review of World Energy. www.bp.com.
3. CADDET Australia National Team. *Power Production Using a Paraboloidal Solar Concentrator*. <<http://www.caddet-re.org/html/Newsletter1-00Article7.htm>> Sep.16, 2001.
4. CADDET Japanese National Team. *Efficient Use of Geothermal Hot Water*. [WWW] <<http://www.caddet-re.org/html/297art4.htm>> Sep.19, 2001
5. Comisión federal de electricidad, CFE. www.cfe.gob.mx
6. Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, Conae. *Fuentes Renovables de Energía*. [WWW] <<http://www.conae.gob.mx>> Feb.18,2002
7. Energy Efficiency Policies an Indicators for the Tokyo Conference , WEC, 1998.
8. Evan den Heuvel. *Prospects for Energy Crops in Netherlands*. [WWW] <<http://www.caddet-re.org/html/497art4.htm>> Sep.19, 2001
9. F. Manzini, J. Islas, M. Martinez, "Reduction of Greenhouse Using Renewable Energy in Mexico, 2025" , International Journal of Hidrogen Energy, 26, 145-149, 2001.
10. G. Lund, NOVA PRO, Denmark. *Denmark's Clean Energy Future from Waves*. [WWW] <<http://www.caddet-re.org/html/399art3.htm>> Sep.03, 2001
11. G.H. Lin, D.E. Carlson, "Photovoltaics in the year 2025", International Journal of Hidrogen Energy, 25, 807-811, 2000.
12. H. Brown, CADDET US National Team. *New Condensers for Geothermal Power*. [WWW] <http://www.caddet-re.org/html/Article_4_3-98.htm> Sep.19, 2001
13. I. Chávez. *Sistemas de Electricidad Solar*. Energía y Tú. Revista científico popular trimestral de CubaSolar No. 2 (octubre-diciembre,2000). [WWW] <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energiaytu.html>> Mar.10, 2002.
14. IEA. *Balance Table. OECD Total 1998*. [WWW] <<http://www.iea.org/stats/files/mtoe.html>> Ene. 30, 2002.



BIBLIOGRAFÍA



15. IEA. *Consumer Guide to Renewable Energy*. [WWW] <<http://www.eren.doe.gov/RE/geothermal.html>> Mar.10, 2002
16. IEA. *Consumer Guide to Renewable Energy*. [WWW] <<http://www.eren.doe.gov/RE/bioenergy.htm>> Mar.10, 2002.
17. IEA. *Consumer Guide to Renewable Energy*. [WWW] <<http://www.eren.doe.gov/RE/solar.html>> Mar.10, 2002
18. International Energy Agency, IEA, 1987. *Renewables Sources of Energy*.
19. J.z. Kermith, "Sector Energético Empantanado", El Universal, Informe de Gobierno, Contexto y Análisis, jueves 30 de agosto de 2001.
20. K. Sheikopf, CADDET US National Team and K. May Industrial Solar Technology, US. *Parabolic Trough Solar Concentrator Technology*. [WWW] <<http://www.caddet-re.org/html/art2-98.htm>> Sep.19, 2001
21. Kwant and W. van Zante, Novem, The Netherlands. *Green Electricity from Waste Wood*. [WWW] <<http://www.caddet-re.org/html/Article 2 4-98.htm>> Sep.16, 2001
22. M.E. Bauer and L.S. García-Colín, "Energía en México el Arranque del Siglo XXI", El Colegio nacional Y la Universidad Nacional Autónoma de México, México,D.F., 342, 1989.
23. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDEC, "Energy Resources", 1999.
24. Organization of the Petroleum Exporting Countries, OPEC Review, 1992, An Energy Development Forum.
25. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. PNUD. "Gases de Efecto invernadero y Cambio Climático 1999", 17, 2000.
26. Programa Universitario de Ahorro de Energía, Facultad de Ingeniería, UNAM, noviembre de 1997.
27. Propuesta de Reforma al Sector Energético Mexicano. El Titular del Ejecutivo Federal al Constituyente.
28. Sandia National Laboratories, DOE, "Energía Solar Fotovoltaica para proyectos de Desarrollo", 1994.



29. Sandia Technology, "Sandia Promotes Renewable Energy Technologies in Mexico, 3, No. 1, 15-16, 2001.
30. Secretaria de Energía, Minas e Industria Paraestatal, SENER. "*Balance Nacional de Energía, 1998 y 1999*".
31. Secretaria de Energía, Minas e Industria Paraestatal, SENER. *Fuentes de energía*. [WWW] <http://www.energia.gob.mx/energia/index_fuentesdeenergia.html> Feb.16, 2002
32. Secretaria de Hacienda y Crédito Público, SHCP. Para informe de Gobierno 1999.
33. Shell Briefing Services, "Renewable Energy", Shell International Petroleum Company Ltd, No.1, 1-13, 1994.
34. Sistema de Información Económica-Energética de América Latina y el Caribe, SIEE, (OLADE). *Producción Mundial de energía*. [WWW] <[http:// www.olade.org.ec](http://www.olade.org.ec)> Jul.14, 2001.
35. T.N. Veziroglu and F. Barbi, "Hydrogen Energy System; A Permanent Solution to Global Problems", 39th IUPAC Congress Proceedings, USA, 1999.
36. V. Fernández. Gases de Efecto Invernadero. *Energía y Tú*. Revista científico popular trimestral de CubaSolar No. 6 (Abril-Junio,1999). [WWW] <[http:// www.cubasolar.cu/biblioteca/energiaytu.html](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energiaytu.html)> Mar.10, 2002.
37. World Energy Council. WEC *Extract from the 1998 Survey of Energy Resources (SER) from Mexico*. <[http:// www.worldenergy.org](http://www.worldenergy.org)>. May. 27, 2001



Cambio climático. Por "cambio climático" se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Concentrador. Modulo fotovoltaico que incluye componentes ópticos, tales como lentes, para dirigir y concentrar la luz solar en una celda solar de un área menor. La mayoría de los concentradores deben de frente o seguir al sol.

Corriente alterna (ca). Corriente eléctrica en la cual la dirección del flujo es invertida a intervalos frecuentes; 60 ciclos por segundo es usado en México. Este es el flujo de corriente en una toma eléctrica de su casa o negocio.

Corriente continua (cc). Es la corriente eléctrica en la cual el flujo de los electrones circula solamente en una dirección. Este es el tipo de corriente producido por un sistema de energía solar.

Desarrollo sustentable. En el reporte Brundtland "Nuestro Futuro Común", publicado en 1987, el concepto de desarrollo sustentable fue definido como "Satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de poder satisfacer sus propias necesidades".

Efectos adversos del cambio climático. Por "efectos adversos del cambio climático" se entiende los cambios en el medio ambiente físico o en la biota resultantes del cambio climático que tienen efectos nocivos significativos en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales o sujetos a ordenación, o en el funcionamiento de los sistemas socioeconómicos, o en la salud y el bienestar humanos.



GLOSARIO



Eficiencia (de una celda o módulo solar). La proporción de electricidad producida por la cantidad de energía solar incidente sobre la celda o módulo. Los módulos solares cristalinos típicos tienen aproximadamente un 10% de eficiencia.

Emisiones. Por "emisiones" se entiende la liberación de gases de efecto invernadero o sus precursores en la atmósfera en un área y un período de tiempo especificados.

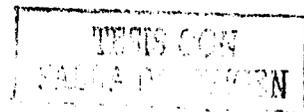
Energía renovable. Flujos de energía que son regenerables o virtualmente inagotables. Los que incluyen la energía de la biomasa, eólica, geotérmica, la de los océanos, la hidráulica y la solar.

Energía. Capacidad para generar un trabajo.

Gases de efecto invernadero. Por "gases de efecto invernadero" se entiende aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja.

Potencia. Tasa de consumo o producción de energía. La potencia se mide en watts o HP

Sistema solar fotovoltaico. Un juego completo de componentes interconectados para convertir la luz solar en electricidad mediante el proceso fotovoltaico, incluyendo el conjunto de paneles del balance del sistema y la carga





ABREVIATURAS



FRE	fuentes renovables de energía
LFC	Luz y Fuerza del Centro
kpe	kilogramos de petróleo equivalente
mmbdp	millones de barriles diarios de petróleo
Mmbp	miles de millones de barriles de petróleo
mmpc	millones de pies cúbicos
mmtpe	millones de toneladas de petróleo
tmc	trillones de metros cúbicos
US\$/l	dólares por litro (americanos)

UNIDADES

°C	grados Celsius
GJ	gigajoules
GWh	gigawatts-hora
kcal/m²	kilocalorías por metro cuadrado
kJ	kilojoules
km/h	kilómetros por hora
km²	kilómetros cuadrados
kWh	kilowatts-hora
m/s	metros sobre segundo
m²	metros cuadrados
MJ	mega joules
MW	mega watts
TJ	terajoules
TWh	terawatts-hora
W/m²	watts por metro cuadrado

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



ÍNDICE DE TABLAS



No.		Pag.
1	Inversiones anuales requeridas en infraestructura	6
2	Capacidad instalada por tipo, 1986-2000 (PJ y MW)	9
3	Índices de intensidad energética para industrias mexicanas intensivas en el uso de energía (MJ/US de 1993)	17
4	Consumo mundial de energía primaria (mtpé)	19
5	Consumo de combustibles para la generación de electricidad y capacidad instalada por tipo, 1986-2000 (PJ y MW)	20
6	Estructura del balance primario y consumo final	21
7	Daños ambientales causados por los combustibles fósiles	28
8	Reservas mundiales de carbón	37
9	Clasificación de los recursos del viento	39
10	Evaluación del potencial de energía del viento (Recursos de clase 3 y mayores)	41
11	Estimación del potencial de energía del viento por regiones del mundo	41
12	Evaluación del potencial global térmico	50
13	Distribución del potencial térmico por regiones del mundo	50
14	Reservas mundiales de petróleo (Mmbp)	59
15	Reservas mundiales de gas natural (trnc)	60
16	Reservas mundiales de hidrocarburos (1998)	61
17	Evaluación del potencial global de energía de los océanos	74
18	Claves para la evaluación del potencial de energía solar	76
19	Evaluación del potencial de energía solar	77
20	Área instalada de colectores solares planos	105
21	Capacidad eléctrica instalada en MW de celdas fotovoltaicas	107
22	Principales especificaciones técnicas para un concentrador solar parabólico	109
23	Funcionamiento del GS3	109
24	Resumen de centrales hidráulicas	113



ÍNDICE DE FIGURAS



No.		Pag.
1	Precios internacionales de la gasolina	10
2	Precios promedio de la electricidad (Residencial)	11
3	Precios promedio de la electricidad (industrial)	12
4	Expectativas de vida al nacer v.s. GJ/per capita consumidos	22
5	Mortalidad infantil v.s. GJ/per capita consumidos	23
6	Alimentación v.s. GJ/per capita consumidos	24
7	% de escolaridad v.s. GJ/per capita consumidos	24
8	Reservas de gas natural y petróleo crudo	61
9	Clasificación del petróleo por densidad y viscosidad	62
10	Procesos en un esquema típico de refinación de petróleo	65
11	Diagrama esquemático de la planta de Tysley	92
12	Diagrama de flujo de una unidad de geoenergía con tecnología DACC	98
13	Consumo de energía primaria en México entre 1996 y 2025 para tres diferentes escenarios	121
14	Emisiones de dióxido de carbono para los tres escenarios	122
15	Emisiones de metano para los tres escenarios	123
16	Emisiones de óxidos de nitrógeno para los tres escenarios	123
17	Emisiones de óxidos de azufre para los tres escenarios	124
GRAFICAS		
1	Intensidad energética nacional	16
2	Intensidad energética (1975-1997)	18



ÍNDICE DE IMÁGENES



No.		Pag.
1	Tecnóloga para cosechas energéticas	35
2	Planta de generación eléctrica a partir de biomasa	35
3	Planta eoloenergética	45
4	Geiser	49
5	Fumarolas	51
6	Presa hidroeléctrica	55
7	Hidroeléctrica del tipo "Corriente de río"	56
8	Generación fototérmica de electricidad a partir de energía solar	78
9	Colector solar plano	79
10	Sistema de plato parabólico	80
11	Sistema de canal parabólico	81
12	Sistema de torre central	82
13	Módulo solar	83
14	Sistema solar fotovoltaico para iluminación	84
15	Tysley: Planta de generación eléctrica a partir de desechos urbanos	91
16	Aerogenerador	93
17	Estación de energía geotérmica Hatchabaru	96
18	Caída de un río empleada en una central hidroeléctrica	99
19	Un modelo WavePlane para generar electricidad a partir de las olas	100
20	Dragón de ola para generar electricidad a partir de las olas	102
21	El Cisne DK3 para generar electricidad a partir de las olas	103
22	Amortiguador puntual para generar electricidad a partir de las olas	103
23	Wave Plane esquema de funcionamiento	104
24	Tres tipos diferentes de concentradores solares. De canal y plato parabólico y de torre central	106
25	Concentrador solar de plato parabólico con la caldera en el punto focal	108