



Universidad Nacional Autónoma de México

## **Programa de Posgrado en Ciencias de la Administración**

# **T e s i s**

**Proyecto de Inversión: Estudio de rentabilidad de  
una planta de producción de celdas solares de silicio  
amorfo en México.**

**Que para obtener el grado de:**

**Maestro en: Finanzas**

**Presenta: Edgar Roberto Sandoval García**

**Tutor (Director): Dr. Joaquín Flores Paredes  
Tutor (Codirector): Dr. Arturo Morales Acevedo**

**México, D.F.**

**Octubre 2010**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## **DEDICATORIAS.**

A mis esposa Heidi, gracias por todo su apoyo, amor y comprensión.

A la familia y amigos, por estar presente en todo momento.

Gracias a los profesores de Posgrado de Administración de la FES - Cuautitlan.

Con especial atención al Dr. Joaquín Flores y Dr. Arturo Morales Acevedo, por su apoyo en la realización de este proyecto.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México.

“Por mi raza hablará el espíritu”

## **ÍNDICE.**

Índice de cuadros, figuras y gráficos.	1
Listado de Siglas.	3
Introducción	6
Aspectos metodológicos.	10
Planteamiento de objetivo general y específicos.	15
Planteamiento de la hipótesis.	16
Capítulo 1. Globalización Económica.	20
1.1 Emergencia de la globalización económica.	20
1.2 Impacto de la globalización en América Latina.	32
1.3 La integración de México en la Globalización.	40
1.4 Crisis económica global y su impacto en la generación de la energía.	45
1.5 Desarrollo sustentable y progreso.	48
Capítulo 2. La situación del Sector Energético en México y a nivel Global.	54
2.1 Producción y consumo energético en el mundo.	54
2.2 Consumo de Electricidad en México	59
2.3 Generación de energía eléctrica en México	62
2.3.1 Fuentes no renovables.	63
2.3.2 Fuentes Renovables, estado actual y potencial.	66
2.3.3 Biocombustibles.	71
2.4 Agotamiento de reservas de hidrocarburos.	74
2.5 Necesidad de contener la contaminación.	90
2.6 Marco regulatorio institucional.	96
Capítulo 3. Generación de energía eléctrica basado en celdas solares.	103
3.1 Factores Económicos.	103
3.1.1 Valor del mercado mundial Fotovoltaico (FV).	104
3.2 Factores Técnico-Ambientales.	108
3.3 Celdas Solares Fotovoltaicos (FV): Efecto y Función.	110
3.3.1 Estructura y función de una celda solar de silicio cristalino.	111
3.3.2 Fabricación de Celdas Solares FV Cristalinas.	115
3.4 Descripción de la tecnología de celdas solares de capa delgada.	119
3.4.1 Celdas de silicio amorfo (a-Si).	122
3.4.2 Producción de celdas de a-Si.	123
3.5 El potencial para los sistemas renovables.	127
3.6 Elección de tecnología de estudio.	128

Capítulo 4. Viabilidad de una planta productora de celdas solares de silicio amorfo en México.	132
4.1 Proyectos de Inversión	132
4.2 Localización óptima de un negocio.	136
4.2.1. Localización óptima del proyecto.	138
4.3 Apoyos financieros y tecnológicos.	147
4.4 Consideraciones del proyecto.	152
4.5 Evaluación económica y financiera.	154
4.6 Planteamiento del proyecto.	157
4.7 Descripción del proceso.	160
4.8 Resultados esperados.	162
Conclusiones.	171
Bibliografía.	173

## **ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y GRÁFICOS.**

1. Cuadro 1. Índices de comercio exterior en relación con el PIB
2. Cuadro 2. Cuotas relativas del mercado mundial de bienes manufacturados.
3. Figura 1. Consumo mundial de energía eléctrica por región, 1997-2007 TWh.
4. Figura 2. Capacidad de generación de energía eléctrica en países miembros de la OCDE, 2007 (GW).
5. Figura 3. Participación de los combustibles utilizados en la generación eléctrica mundial, 2002-2015.
6. Figura 4. Evolución del consumo nacional de electricidad, 1983-2004 (%).
7. Figura 5. Estructura de las ventas internas por sector, 1994-2004 (%).
8. Figura 6. Estructura regional de las ventas internas por estado (participación porcentual promedio 2004).
9. Figura 7. Generación bruta en el servicio público por tipo de combustible 1994-2004 (TWh).
10. Figura 8. Oferta interna bruta 1994-2004.
11. Figura 9. Capacidad instalada por tecnología 2004-2014.
12. Cuadro 3. Permisos de generación con ER otorgados a particulares.
13. Figura 10. Potencial de la energía eólica en Oaxaca.
14. Figura 11. Estimación de evolución de la demanda de energía primaria.
15. Figura 12. Opciones de generación termoeléctrica. Inversiones específicas.
16. Figura 13. Algunas áreas de energía eólica en el mundo.
17. Figura 14. Una previsión de evolución del transporte de personas y mercancías
18. Figura 15. Reservas más significativas de hidrocarburos.
19. Cuadro 4. Previsiones de utilización de biocarburantes en el mundo.
20. Figura 16. Previsiones de suministro de gas natural en el futuro desde "MENA".
21. Figura 17. Un esquema alemán de abastecimiento con gas natural ruso.
22. Cuadro 5. Reservas energéticas mundiales
23. Gráfico 1. Porcentaje de consumo energético en el mundo en 2001.
24. Cuadro 6. GEI y su potencial contribución al calentamiento global.
25. Cuadro 7. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en generación eléctrica.
26. Figura 18. Participación de mercado de materiales en celdas solares, en 2001.
27. Figura 19. Instalaciones Solares FV, 2004 – 2008 (MW).
28. Figura 20. Distribución mundial de la producción de células fotovoltaicas (2007).
29. Figura 21. Evolución del importe mundial de la AOD en energías renovables.
30. Cuadro 8. Aranceles aplicados a la tecnología fotovoltaica solar en 18 países en desarrollo de altas emisiones de Gases de Invernadero (%).
31. Cuadro 9. Insolación en algunas ciudades de América Latina.
32. Figura 22. Tipos de Celdas Solares.
33. Figura 23. Arreglo de silicio cristalino dopado.
34. Figura 24. Funcionamiento de una celda solar.
35. Figura 25. Estructura de una celda solar de silicio de alta eficiencia.
36. Figura 26. Estructura de una celda solar de silicio tipo "industrial".
37. Figura 27. Etapas de fabricación de un módulo solar.
38. Cuadro 10. Eficiencias máximas en sistemas fotovoltaicos.
39. Figura 28. Celda solar de silicio amorfo.
40. Figura 29. Estructura del Si cristalino.
41. Cuadro 11. Producción de módulos fotovoltaicos de silicio amorfo.
42. Figura 30. Esquema de una celda de silicio amorfo.

43. Cuadro 12. Materiales Commodity: Cantidades proyectadas Vs. Producción actual.
44. Cuadro 13. Materiales de especialidad: Cantidades proyectadas Vs. Producción actual.
45. Figura 31. Tipología de proyectos.
46. Figura 32. Etapas de un proyecto.
47. Cuadro 14. Doing business en México ¿Dónde es más fácil hacer negocios?
48. Figura 33. Coahuila, Guanajuato y Puebla, son los estados más rápidos en la apertura de una empresa.
49. Cuadro 15. ¿Dónde es fácil hacer cumplir los contratos y donde no lo es?
50. Cuadro 16. Comparación de las 3 entidades propuestas en relación a obtención de permisos de construcción y cumplimiento de contratos.
51. Figura 34. Localización del estado de Hidalgo.
52. Figura 35. Conectividad carretera del estado de Hidalgo.
53. Cuadro 17. Subsidios gubernamentales en algunos países (2005).
54. Figura 36. Inversiones globales en ER.
55. Figura 37. Requerimientos de inversión en el sector eléctrico nacional, 2010-2024, (millones de pesos de 2009).

## **LISTADO DE SIGLAS.**

Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATT).  
Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en ingles),  
Agencia Internacional de Energía (IEA).  
Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA).  
Apoyo Financiero para los negocios en México (FICEN).  
Arseniuro de galio (GaAs).  
Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD).  
Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)  
Bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).  
Centro de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV).  
Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)  
Clorofluorocarbonos (CFCs)  
Cobre Indio Selenio (CIS).  
Comisión Federal de Electricidad (CFE).  
Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE).  
Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF).  
Comisión Reguladora de Energía (CRE)  
Comité de Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero (COMEGEI)  
Comité Intersecretarial de Cambio Climático (CICC).  
Conferencia de las Naciones Unidas de Comercio y Desarrollo (UNCTAD).  
Consejo Nacional de Población (CONAPO).  
Cooperación Técnica Alemana (GTZ).  
Dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>).  
Dólares americanos (USD).  
El Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN).  
Efecto Invernadero (COMEGEI).  
Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)  
Energía prohibida (Eg).  
Energías Renovables (ER).  
Energías Renovables (ER).  
Estados Unidos de América (EE.UU.).  
Estados Unidos de América (EUA),  
European Investment Bank (EIB).  
Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO).  
Fondo de Inversión en Infraestructura (FINFRA).  
Fondo de Investigación y Desarrollo Tecnológico de las ER (FIDTER).  
Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en ingles),  
Fosfina (PH<sub>3</sub>).  
Fotovoltaico (FV).  
Galio antimonio (GaSb).  
Galio indio fósforo (GaInP).  
Gas silano (SiH<sub>4</sub>).  
Gases de Efecto Invernadero (GEI)  
German Solar Energy Society (DGS)  
Giga Watts (GW)  
Global Clean Energy Holdings (GCE).  
Global Renewable Energy Forum (GREF).  
Globalización Económica (GE).  
Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en ingles).  
Indium tin oxide (ITO).  
Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).  
Inversión extranjera directa (IED).  
Investigación y desarrollo (I+D).  
Kilowatt / metro cuadrado (KW/m<sup>2</sup>).  
Kilowatts (kW)  
La Comisión Nacional de Energía (CONAE).



La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE).  
La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).  
La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).  
LAFRE (Law for the Use of Renewable Sources of Energy).  
Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE).  
Luz y Fuerza del Centro (LFC).  
Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).  
Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).  
Mega Watts de potencia (MWp)  
Mercado común del Sur (MERCOSUR)  
Millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (MtCO<sub>2</sub>e)  
Módulos híbridos (HIT).  
National Renewable Energy Laboratory (NREL)  
Normas Oficiales Mexicanas (NOM).  
Organización de las Naciones Unidas (ONU).  
Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).  
Oriente Medio y Norte de África (MENA)  
Óxido de estaño (SnO<sub>2</sub>).  
Óxido de zinc (ZnO).  
Óxido nitroso (NO).  
Passivated Emmitter and Rear Locally diffused (PERL).  
Potencial de calentamiento global (PCG).  
Producto Interno Bruto (PIB).  
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).  
Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)  
Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE)  
Reactor de plasma por depósito químico en fase vapor (CVD, por sus siglas en ingles).  
Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21).  
Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).  
Secretaría de Energía (SENER).  
Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP).  
Silicio amorfo (a-Si).  
Silicio grado metalúrgico (MG-Si).  
Tasa interna de retorno (TIR).  
Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR).  
Tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC).  
Telurio de cadmio (CdTe).  
The International Space environment Service (ISES).  
Transparent conductive oxide (TCO).  
UN Conference on Environment and Development (UNCED).  
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).  
Valor presente neto (VPN).

## **INTRODUCCIÓN.**

El mundo se ha visto beneficiado por la globalización económica. El crecimiento en las economías emergentes ha sacado a millones de la pobreza y creado importantes oportunidades de inversión y prosperidad. Esto ha ayudado a naciones como China e India a afirmarse como potencias globales. Brasil también está materializando su potencial y avanzando como una de las futuras potencias globales.

En Occidente, Estados Unidos sigue siendo la primera potencia aunque debilitada, y la Unión Europea, aunque también debilitada, ha consolidado su posición como principal bloque económico, con la segunda divisa más utilizada en las transacciones internacionales.

Pero la globalización también incrementa la competencia y expone debilidades. La crisis financiera actual ha exacerbado lo que se percibe como el lado negativo de la globalización. La expansión de esta crisis a escala planetaria y su transformación en crisis económica ha tenido efectos devastadores en algunos países y sólo menores en unos cuantos, aún cuando su origen fue en Estados Unidos.

La globalización genera desafíos a la seguridad que no respetan las fronteras. El deterioro ambiental y sus consecuencias se pueden propagar más rápidamente, una falta de energía segura y sustentable no ayuda a salir de la recesión mundial, mientras que la generación de energía con base en fuentes alternativas, puede contribuir a salir más rápidamente de una recesión, al significar nuevas áreas de oportunidad para inversiones y generación de empleos. El cambio climático, más allá de sus consecuencias ambientales, podría tener repercusiones geopolíticas y sociales graves. El compromiso multilateral es esencial.

Alcanzar un acuerdo sobre el cambio climático es una prioridad. Sólo se puede enfrentar trabajando en conjunto. De no alcanzarlo cabalmente en un corto plazo, se sufrirán los efectos nocivos, entre ellos mayores sequías, inundaciones y otras condiciones extremas.

El cambio climático también representa un caso práctico de cómo podemos hacer de una necesidad una virtud. El desarrollo y uso de tecnologías alternativas puede implicar nuevas fuentes de crecimiento. Construir una economía sustentable ayudará a asegurar la prosperidad.

La energía es un agente primario en la generación de riqueza y también un factor significativo en el desarrollo económico. La importancia de la energía en el desarrollo económico ha sido reconocida de manera universal; los datos históricos demuestran una fuerte relación en la disponibilidad de energía y la actividad económica.

Soluciones exitosas para los problemas ambientales que hoy enfrentamos requieren acciones enérgicas de largo plazo para un desarrollo sostenible. De acuerdo a lo anterior, las fuentes de energías renovables, parecen ser una de

las más eficientes y efectivas soluciones. Es por esto que existe una conexión íntima entre energía renovable y desarrollo sustentable.

Los servicios que la energía proporciona contribuyen a satisfacer múltiples necesidades básicas como el suministro de agua potable, la iluminación, la salud, la capacidad de producir, transportar y procesar alimentos, la movilidad o el acceso a la información, de forma que el acceso a formas avanzadas de energía, -como la electricidad o los combustibles líquidos y gaseosos-, debería incluirse entre los derechos inalienables del ser humano en el siglo XXI.

La manera en que las organizaciones y tomadores de decisiones pueden participar e influir en la mejora del medio ambiente y en la remediación del agotamiento de los recursos naturales, así como en la competitividad, es entre otras acciones, promoviendo proyectos de valuación de la rentabilidad de nuevos productos o diseños, como puede ser la fabricación de celdas solares.

Para fomentar el interés entre los inversionistas, se propone realizar un estudio de la rentabilidad de producción de celdas solares empleando una tecnología de silicio amorfo cuyas cualidades son, bajo costo de producción respecto a la tecnología tradicional, eficiencias de conversión de hasta un 10%, puede adoptar cualquier forma dependiendo del sustrato a depositar, entre otras.

Si bien el emprendimiento de cualquier plan de negocios o proyecto es un reto importante que afronta cualquier organización o emprendedor, las dificultades que enfrentan proyectos de impulso al uso de energías renovables desde el punto de vista financiero y operativo son más críticas, porque la naturaleza de su actividad, implica ineludiblemente competir intensamente por ofrecer márgenes de utilidad, calidad y prestación en el servicio con mayor intensidad que otras organizaciones, cuya actividad de provisión de energía es de "minería" o de extracción y porque se trata de nuevo desarrollo tecnológicos.

No es fácil, cuantificar aquello sobre lo que tenemos poco conocimiento.

La técnica de la evaluación de proyectos conjunta diversas herramientas analíticas con los planes operativos de una organización para alcanzar ciertos objetivos y metas planteados y su uso puede propiciar y motivar dar continuidad a estos esfuerzos, por ello, en esta investigación se valora la importancia de establecer una planta de producción de celdas solares de silicio amorfo en México.

Las actuales características organizacionales, demográficas y tecnológicas del planeta hacen que los efectos de la actividad económica sobre el medio ambiente y el agotamiento de recursos se difundan cada vez más fácilmente y ganen en poder de afectación. Lo que hace apenas unos cuantos años eran efectos locales y fácilmente corregibles, se han convertido en fenómenos globales que podrían resultar irreversibles.

Si bien son múltiples y complejos los temas medio ambientales, la energía constituye un componente fundamental en cualquier estrategia de desarrollo sostenible y sustentable, debido no sólo a su peculiar ubicuidad en toda

actividad humana, sino también a la importancia que tienen las diferentes alternativas energéticas en el desarrollo económico, el cuidado del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales, la seguridad y soberanía nacional y la mejora de la calidad de vida.

Consideramos que el emprendimiento de estudios sobre la relevancia de proyectos generadores de nuevos materiales tecnológicos más amigables con el medio ambiente, es relevante porque al promoverse su utilización, se coadyuva a la consecución a la mejora del medio ambiente, de la calidad de vida de la población, en el crecimiento económico y por ende en el desarrollo de cualquier país o región.

Se plantea que la ausencia de mecanismos y sistemas de información respecto a las dificultades que enfrentan las empresas promotoras de nuevas tecnologías y en particular de generación de energías renovables, son una restricción, que impide tener mejores y mayores oportunidades de seleccionar y elegir entre alternativas energéticas en conflicto, para incidir en el desarrollo económico y motivar a nuevos agentes e inversionistas a incursionar en estos proyectos.

Para llevar adelante la investigación, se examinaron los avances tecnológicos en el uso de nuevas fuentes de energía y se valora si el uso de energía solar conforme a la tecnología propuesta, se corresponden con un desarrollo sustentable.

Los resultados indican que al evaluarse la rentabilidad de una planta de celdas solares, se tienen mejores mecanismos de control y los sistemas de información, que si bien, no garantizan su éxito, se agrega información más precisa y un análisis más profesional y oportuno, que puede facilitar la toma de decisiones y la adaptación de la tecnología a ciertos entornos, conocimiento que además, puede ser empleado por otros emprendedores y mejorarse subsecuentemente.

En este trabajo se presentan datos reales sobre el costo de instalación y puesta en marcha de una planta de celdas solares de silicio amorfo, teniendo como base el hecho de que el mercado fotovoltaico en la Unión Europea y Estados Unidos, seguirá creciendo en un orden del 30% anual para las siguientes décadas, por lo que se tienen oportunidades potenciales de negocio muy interesante.

El trabajo se organiza conforme a lo siguiente: 4 capítulos, que ilustran la viabilidad financiera de producir celdas solares de silicio amorfo en México, al instalar una planta en el estado de Hidalgo, para atender los mercados consolidados de la Unión Europea, el nuevo mercado emergente de los Estados Unidos y en un futuro el mercado local.

Se inicia el trabajo con una descripción de los aspectos metodológicos que ayudaron en la elaboración del mismo, se describe el planteamiento del problema, objetivos e hipótesis.

En el primer capítulo se contextualiza el objeto de estudio en el marco de la globalización, factor que se debe tomar en cuenta para identificar cómo se desarrollan en la actualidad los mercados y negocios; esto incluye los aspectos culturales de la gestión administrativa en las organizaciones empresariales que operan en escala global.

Se analizan las circunstancias bajo las cuales la economía mexicana se insertó en la globalización y como ha sido el crecimiento de las grandes compañías transnacionales latinoamericanas. Esto se justifica porque el tema de desarrollo sustentable debe tomarse en cuenta para asegurar un futuro a las siguientes generaciones que habiten este mundo global. Hoy en día se deben tomar en cuenta nuevos factores al momento de plantear un proyecto nuevo, como el desarrollo sustentable y economía del conocimiento.

En el capítulo 2 se presenta una descripción de las principales tecnologías generadoras de energía eléctrica a nivel mundial; se analiza la forma en que éstas afectan directamente la reducción de las principales fuentes energéticas, como el carbón y petróleo, y como el uso indiscriminado de estas fuentes ha dado como consecuencia un cambio climático global. Se presenta un panorama de las nuevas tendencias de fuentes renovables para la producción de energía eléctrica, así como el marco regulatorio del país para el uso eficiente de las fuentes renovables y no renovables de energía eléctrica.

En el capítulo 3, se describe la tecnología de celdas solares como fuente alterna de energía eléctrica, cuales son los materiales que se utilizan en el mercado fotovoltaico, sus tendencias futuras y el porqué se escogió la tecnología de silicio amorfo para el cálculo de viabilidad financiera del proyecto.

Posteriormente en el capítulo 4, se describen las características de un proyecto de inversión y las etapas involucradas en el mismo. Tomando en cuenta el proceso de fabricación de celdas solares de silicio amorfo, mano de obra, costo de materiales, inversión en equipo y maquinaria, se genera el estudio económico y financiero del proyecto, incorporando variables como los estímulos fiscales que ofrece el gobierno mexicano, para el fomento de energías renovables.

Finalmente se presentan las conclusiones de este trabajo de tesis.

## **ASPECTOS METODOLÓGICOS.**

### **I. Metodología.**

La metodología de la investigación es el resultado de los métodos que ofrecen una mejor comprensión de ciertos caminos, que han probado su utilidad, eficiencia y eficacia en la práctica de la investigación con objeto de evitar los obstáculos que entorpezcan el trabajo científico, en este caso, la tesis, representa la manera de organizar el proceso de investigación, el control de sus posibles resultados y presentación de soluciones asequibles a un problema que conlleva a la toma de decisiones. Sánchez (1)

La metodología empleada en esta tesis tiene como punto de partida las siguientes consideraciones:

- a) Generalmente la toma de decisiones para proyectos que involucran nuevas tecnologías, se realiza sin evaluar su viabilidad o anticipar las posibilidades que seguirá esa opción tecnológica, con lo que en un caso, se desechan alternativas viables o en otro, una vez seleccionada cierta tecnología, se retrasa su aplicación práctica.
- b) Los nuevos proyectos de este tipo no se hacen solamente porque alguien desea o sueña producir determinado artículo, generar cierta tecnología o porque piensa exclusivamente en obtener ganancias, sino porque se advierte una oportunidad de crear una empresa innovadora y porque se sigue un proyecto estructurado y evaluado que indica la pauta a seguir.
- c) Al realizarse un análisis de este tipo, no se está exento de riesgos. En realidad, cualquier previsión futura es incierta y por lo mismo, el tiempo y el capital invertido siempre están en riesgo. Cuando se calculan las ganancias futuras, no obstante haberse realizado un análisis profundo, no hay ninguna garantía de que dichas utilidades se obtendrán tal y como se estimaron. Por lo anteriormente planteado, es claro que siempre será más conveniente diseñar y aplicar una metodología de evaluación y realización del proyecto, que hacerlo sin ninguna guía básica o elemental.

### **II. Tipo de Investigación**

Los tipos de investigación pueden ser experimentales, bibliográficas o de campo. En este trabajo de tesis se entrelazan la investigación bibliográfica y de campo, ya que antes de observar y analizar el fenómeno de estudio, sustenta su diseño en una abundante y selectiva búsqueda-recuperación de la información bibliográfica. A este tipo de investigación se le denomina investigación mixta no experimental. Evidentemente es un tipo de investigación no experimental porque no corresponde al ámbito de las ciencias naturales.

La investigación bibliográfica, aporta un conjunto de experiencias y resultados que han logrado científicos tanto en el país como en el mundo, para ello se

revisaron fuentes bibliográficas donde se plasman las aportaciones teóricas y propuestas de especialistas, tanto en materia de globalización económica, tecnología de fuentes alternativas generadoras de energías, como en técnicas para evaluación de proyectos. Por su parte, a través de la investigación de campo se recuperó información que existe en la realidad, tanto en forma directa como a través de entrevistas con los expertos en la materia, quienes son los protagonistas del escenario real.

### III. Alcance.

De acuerdo al alcance de la investigación, los estudios pueden ser:

- Estudios Exploratorios: Son aquellos que nos familiarizan con un tema desconocido, poco estudiado o novedoso.
- Estudios Descriptivos: Al igual que las investigaciones de campo, nos posibilitan el análisis de cómo es, como se manifiesta y cómo evoluciona el fenómeno y sus componentes.
- Estudios Explicativos: Busca encontrar las razones o los motivos que provocan ciertos fenómenos, buscando analizar y comprender la causa-efecto o efecto-causa.
- Estudios Correlacionales: Pretenden exponer y justificar como se relacionan o vinculan diversos fenómenos entre sí. Sánchez (2)

En esta tesis, el tipo de estudio que ha realizado corresponde al exploratorio, en tanto que se aborda el tema de la evaluación financiera para la producción de celdas solares, que en México es un tema poco estudiado desde ese punto de vista.

### IV. Definición de Problema.

A nivel mundial el 90% de la generación de energía eléctrica se produce con combustibles fósiles, y menos del 1% se produce con fuentes de energías renovables. Esta proviene de fuentes fósiles en proceso de agotamiento y a ello se suma el impacto global de la contaminación del medio ambiente que ocasionan. Es por esto que es prioridad el estudio de proyectos de inversión en energías renovables, y en específico la rentabilidad de una planta de producción de celdas solares de silicio amorfo en México, tecnología que en un futuro serán una prioridad para el desarrollo de cualquier país.

De esta manera se aproximan datos reales sobre el nivel de rentabilidad en la inversión de celdas solares, se ampliará el conocimiento de la tecnología de energía solar y sus aplicaciones y además generará el desarrollo sustentable.

## V. Preguntas de Investigación.

### 1. ¿Por qué es importante realizar la investigación del tema?

La generación de energía eléctrica a nivel mundial proviene de fuentes no renovables, lo cual en la actualidad ya representa un fuerte problema económico que se agudiza con la escases de fuentes como el petróleo, aunado a la intensa generación de contaminantes al ambiente.

Una de las soluciones proviene de la fuente inagotable de energía, la luz solar, esta se puede aprovechar mediante la transformación de la luz solar a energía eléctrica, a través de celdas solares. Por lo que es de suma importancia tener datos reales de cuánto cuesta producir energía por este tipo de tecnología, pero además cual es el valor de fabricar esta tecnología de manera local.

Si no existe un plan de inversión a corto plazo en la producción de celdas solares en México, el país será dependiente de este tipo de tecnologías en no más de 10 años.

### 2. ¿Cuáles son los resultados obtenidos?

El hombre ha vivido en este planeta por alrededor de 200 000 años, en donde los combustibles fósiles para la producción de energía durarán por pocos cientos de años a lo mucho. Esto también aplica para las fuentes de energía nuclear en su tecnología actual. En contraste el sol se encontrará en un estado estable entre 4 y 7 billones de años.

En esta escala de tiempo la edad de los combustibles fósiles representa un corto periodo de tiempo, por lo que en gran medida la supervivencia de la especie humana depende de una transición a energías sustentables, particularmente la energía solar.

Aún antes de que los combustibles fósiles se agoten, el calentamiento global pondrá un límite a las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmosfera. Por lo que en un futuro próximo, pocas opciones de fuentes de energía, estarán quizás disponibles. Los costos probablemente no sea el factor principal entonces, ya que continuamente se obtienen menores costos en las energías renovables, pero en un futuro cualquier alternativa será significativamente más cara. Por lo que la conservación de la energía es lo mandatorio hoy en día.

El potencial de la energía solar es muy alto y podría satisfacer cualquier requerimiento. La radiación solar, puede ser convertida directamente a calor o electricidad. La electricidad es generada principalmente por efecto fotovoltaico, pero conversiones térmicas de alta temperatura pueden ser posibles, en lugares soleados. Los problemas de la energía solar son bien conocidos: a) la dilución natural de la radiación, requiriendo equipos de alta eficiencia, bajos costos de conversión y b) su disponibilidad intermitente, lo que hace necesario su almacenamiento.

Hoy en día, los costos de las celdas fotovoltaicas son relativamente altos, pero estos siguen una bien establecida curva de aprendizaje. La curva de aprendizaje es una relación empírica que asume que la curva generada de los



costos contra la producción acumulada es lineal. Esta ley aplica a casi la mayoría de los productos industriales con pendientes diferentes e individuales que permanecen constantes por décadas.

Siguiendo este razonamiento la curva de aprendizaje para las celdas fotovoltaicas ha sido constante por más de 20 años, por lo que se puede asumir que esta persistirá en el futuro. Por lo que podemos inferir cuando la energía fotovoltaica (FV) será económica, tomará al menos 20 años antes de que la FV sea económica para un uso descentralizado. La FV actualmente es 4 veces más cara que la energía proveniente de fuentes actuales.

La energía solar puede ser utilizada, en aplicaciones a gran escala y sistemas pequeños caseros. Los negocios y la industria pueden diversificar sus recursos energéticos, mejorar eficiencias, y ahorrar dinero al escoger sistemas de energía solar para procesos de calentamiento y enfriamiento, procesos industriales, generación de electricidad y vapor.

En casa, también se pueden tener aplicaciones de calentamiento y enfriamiento, así como generación de vapor, e inclusive generar energía eléctrica, para operar fuera de red o vender la energía eléctrica sobrante. Dependiendo de programas locales, el uso de calentamiento pasivo solar, y diseños estratégicos de luz solar, pueden ayudar tanto a hogares como edificios a operar de manera más eficiente y hacerlos lugares más cómodos y agradables para vivir y trabajar.

Más allá de estas aplicaciones localizadas, las compañías generadoras de energía eléctrica, están tomando ventajas de la abundante fuente de energía solar y ofreciendo sus beneficios al consumidor. Los sistemas concentradores de energía solar permiten a las plantas de energía producir electricidad a gran escala, lo cual permite a los consumidores aprovechar las ventajas de la energía solar sin hacer una fuerte inversión en sistemas personales de tecnología solar.

Las celdas solares, también llamadas celdas fotovoltaicas, por los científicos en celdas solares, convierten la luz solar directamente en electricidad. Estas son hechas de materiales semiconductores similares a los usados en los chips de computadoras. Cuando la luz solar es absorbida por estos materiales, la energía solar golpea los electrones, liberándose de sus átomos, permitiendo a los electrones fluir a través de los semiconductores para producir electricidad. Este proceso de convertir luz (fotones) en electricidad (voltaje) es llamado efecto fotovoltaico (FV).

Las celdas solares, son combinadas en módulos que tienen cerca de 40 celdas, al menos 10 de estos módulos son montados en paneles que pueden medir varios metros de largo. Estos paneles se fijan bajo un ángulo determinado, o pueden ser montados en un mecanismo que siga el curso del sol, permitiéndoles absorber la mayor cantidad de luz solar durante el día. Para un hogar, entre 10 y 20 paneles pueden proveer suficiente energía, para aplicaciones industriales cientos de paneles pueden ser interconectados para formar un panel fotovoltaico simple.

Las delgadas películas de celdas solares, utilizan materiales semiconductores de unos cuantos micrómetros de ancho.

El desempeño de las celdas solares se mide en términos de eficiencia de conversión de luz solar a electricidad. Sólo la luz solar de cierto nivel de energía puede trabajar eficientemente para crear electricidad, y mucho de esta luz solar es reflejada o absorbida por el material de la celda solar. Por lo que las típicas celdas solares comerciales ofrecen un 15% de eficiencia - aproximadamente 1/6 parte de la luz que choca con la celda solar genera electricidad. Esta baja eficiencia requiere que paneles muy grandes sean utilizados, y por lo mismo representan un alto costo.

Mejorar la eficiencia de las celdas solares, al mismo tiempo que reducir los costos de fabricación es una de los objetivos importantes de la industria FV. La primera celda solar construida en los 1950's ofrecía por debajo de un 4% de eficiencia.

La electricidad, la cual es una fuente de energía secundaria, puede ser generada de la conversión de otras fuentes de energía, tales como, carbón, gas natural, petróleo, nuclear, y otras fuentes naturales, las cuales son llamadas fuentes primarias.

La demanda de electricidad se espera se genere en los países en desarrollo. En la actualidad, estos países, con más del 75% de la población actual, cuentan con un tercio del consumo del consumo de electricidad mundial. El consumo neto de electricidad mundial se espera sea el doble en las próximas dos décadas. La demanda de electricidad es proyectada incrementar un promedio de 2.3% por año, de 13,290 billones kWh en 2001 a 23, 072 billones de kWh en 2025.

La mezcla de combustibles primarios utilizados para generar electricidad han generado una gran controversia en las pasadas tres décadas en la base mundial. Las energías renovables representan el tercer más grande contribuyente a la producción global de electricidad.

El poder verde se refiere a las fuentes de electricidad provenientes de fuentes de energía renovables, en lugar de las fuentes tradicionales de energía eléctrica. Las ventajas ambientales de usar tecnologías verdes parecen ser claras. Utilizando fuentes de energía verdes como la hidráulica, biomasa, geotermal, y de viento, para la fabricación de electricidad, reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>. La investigación de mercado demuestra que existe un gran potencial para la energía verde en Europa en general. La energía verde se ha desarrollado en más de una docena de países alrededor del mundo.

Las fuentes de energía jugarán un rol muy importante en el futuro mundial. Recientemente problemas ambientales han sido resultado de la producción, conversión y utilización de energía, lo que ha incrementado una mayor atención de la población, gobierno e industria, tanto de países desarrollados como en vía de desarrollo.

Los organismos internacionales han jugado un rol de líderes en proteger el ambiente al reducir los gases de efecto invernadero, las emisiones son considerables a una escala global. Las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por actividades humanas son consideradas las más importantes. Las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>, provenientes del consumo del petróleo, gas natural y carbón, aunado a la quema de gas natural, incrementaron de 5,892 millones de toneladas métricas de equivalentes de carbón en 1992 a 6,568 MMT en 2001.

#### VI. Justificación.

La generación de energía eléctrica a nivel mundial proviene de fuentes no renovables, lo cual en la actualidad ya representa un fuerte problema económico al iniciar la escases de fuentes como el petróleo, aunado a la intensa generación de contaminantes al ambiente.

Una de las soluciones proviene de la fuente inagotable de energía, la luz solar, esta se puede aprovechar mediante la transformación de la luz solar a energía eléctrica, a través de celdas solares. Por lo que es de suma importancia tener datos reales de cuánto cuesta producir energía por este tipo de tecnología, pero además cual es el valor de fabricar esta tecnología de manera local.

Si no existe un plan de inversión a corto plazo en la producción de celdas solares en México, el país será dependiente de este tipo de tecnologías en no más de 10 años.

#### VII. Planteamiento de objetivo general y específicos.

Una vez considerados los planteamientos anteriores, se procedió a establecer los objetivos de esta tesis.

Objetivo general:

Formular y evaluar un proyecto de inversión, como un estudio financiero de rentabilidad para una planta productora de celdas solares de silicio amorfo en México, que coadyuve a dar mayor certidumbre a los proyectos de desarrollo tecnológico y ofrecer una alternativa de negocio a la fabricación de celdas solares en pro de la generación de fuentes de energía renovables de bajo costo.

Objetivos particulares:

- Diagnosticar las necesidades de fuentes de energías renovables para la generación de energía eléctrica en México.
- Diseñar un proyecto de inversión para evaluar la competitividad de las celdas solares de silicio amorfo, como fuente renovable de energía eléctrica en México.

- Instrumentar un proyecto de inversión para la comprobación de la eficiencia de una planta de celdas solares de silicio amorfo como fuente renovable de energía eléctrica en México.
- Evaluar la rentabilidad financiera de un proyecto de inversión para la producción de celdas solares de silicio amorfo ubicado en el Estado de Hidalgo.

#### VIII. Planteamiento de la hipótesis.

Las hipótesis que se formularon para esta tesis y que sirvieron como punto de referencia en el desarrollo de la misma, son las siguientes:

- La producción de celdas solares de silicio amorfo en México son una opción emprendedora que tiene viabilidad financiera limitada por las condiciones del mercado.
- La formulación de un proyecto de inversión para la producción de celdas solares de silicio amorfo, permitirá dar mayor certidumbre a capitales privados o públicos para incursionar en el establecimiento de este tipo de plantas, y con ello en la gradual inversión de de fabricación de celdas solares en México.

Las variables que se consideraron para desarrollar esta tesis son las siguientes:

Variable dependiente:

- ✓ Producción de celdas solares de silicio amorfo en México.

Variables Independientes:

- ✓ Desconocimiento de tecnología.
- ✓ Costo de energía eléctrica de fuente solar vs. Fuentes actuales.
- ✓ Que tecnologías de energías renovables se ocupan a nivel mundial.
- ✓ Contaminación del medio ambiente.

#### IX. Planteamiento del diseño de investigación.

Diseño de la Investigación.

Generalmente la toma de decisiones de los emprendimientos tecnológicos se realiza sin evaluar su viabilidad o anticipar las posibilidades que seguirá esa elección tecnológica, con lo que en un caso, se desechan alternativas viables o en otro, una vez seleccionada cierta tecnología, se retrasa su aplicación práctica.

El emprendimiento no se hace sólo porque alguien desea o sueña producir determinado artículo o generar cierta tecnología, o porque piensa exclusivamente en ganar dinero, sino porque se advierte una oportunidad de

emprendimiento y porque se sigue un proyecto estructurado y evaluado que indica la pauta a seguir.

Al realizarse un análisis de este tipo, no se está exento de riesgos. En realidad, cualquier previsión futura es incierta y por lo mismo, el tiempo y el capital invertido siempre están en riesgo. Cuando se calculan las ganancias futuras, no obstante haberse realizado un análisis profundo, no hay ninguna garantía de que dichas utilidades se obtendrán tal y como se estimaron, por ello, es claro, que siempre será más conveniente diseñar y aplicar una metodología de evaluación y realización del proyecto, que hacerlo sin ninguna guía básica o elemental.

Para tal efecto, se sigue un proyecto, dentro del cual, se procedió conforme a lo siguiente:

Nuestro interés estriba en incursionar en el análisis de la rentabilidad de producción de celdas solares de silicio amorfo en México, considerando la tecnología de celdas solares de silicio amorfo desarrollada por la empresa Suiza Energo Solar ([www.energ solar.com](http://www.energ solar.com)) y empleando la técnica de la evaluación de proyectos, porque consideramos que los desarrollo tecnológicos en el empleo de celdas solares de silicio amorfo, representan una alternativa amigable con el medio ambiente y que proyectos de este tipo, pueden resultar económicamente atractivos en el mediano plazo.

Se reviso la literatura relacionada con el origen y desarrollo de la tecnología de silicio amorfo, y la relacionada con evaluación de proyectos para precisar los conceptos aplicables al proyecto que nos ocupa.

En lo tocante a la relacionada con las tecnologías de fabricación de celdas solares, destaca la propuesta de Takahashi K. Konagai referidas a depósito químico en fase vapor (CVD por sus siglas en ingles).

En el caso de las herramientas de evaluación de proyectos se considero la propuesta de proyectos económico - financieros, que si bien evalúa la rentabilidad financiera, por la naturaleza del proyecto -si es puesto en operación-, generará un beneficio social subyacente. Por tanto, de acuerdo a la metodología de la evaluación de proyectos en este trabajo se comprende hasta la fase de pre-inversión.

Se procedió a recabar información técnica y económica y de mercado en fuentes oficiales como. INEGI, CINVESTAV-IPN, UNAM, UAM, Secretaria de Economía, Banco de México, Banco Mundial, CEPAL, CFE, SENER, SEMARNAP, SAGARPA, UNCTAD, DGS, UNESCO.

Se consultó al Dr. Arturo Morales Acevedo, co-director de la presente tesis, quien es profesor e investigador del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, y es un experto en la materia. Se determinó así que el proyecto podría tener un horizonte de vida o actividad de 10 años y la evaluación se realizó por el período de 2011-2021, y se previó iniciar la producción y las ventas en el 2012.

Conforme a nuestro interés y al tamaño de mercado existente en el centro de la república mexicana, se previó localizar la empresa en alguna localidad del Estado de Hidalgo, y para su localización, se recurrió a la asignación de valores numéricos a los factores cualitativos relevantes que influyen en su ubicación, tales como: mercado, disponibilidad de la materia prima, desempeño tecnológico, infraestructura, calidad de la mano de obra, etc.

Se integro un banco de información técnica y económica (cedula básica y otros), así mismo, se realizó una memoria de cálculo a efecto de que el lector interesado u otros emprendedores y organizaciones, puedan replicar el análisis realizado.

Se consideró hacer la evaluación a partir de tres escenarios. Para el desarrollo del escenario n° 1 se parte de la consideración de un costo de venta actual en la UE de 1.25 euros/Wp para paneles de silicio amorfo ([www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com), junio 2010) y de acuerdo del tipo de cambio de \$15.47 pesos/euro (Banco de México, 17/06/2010), y una depreciación de maquinaria y equipo a 10 años.

Para el desarrollo del escenario n° 2 se partió de la consideración de un costo de venta actual en la UE de 1.25 euros/Wp para paneles de silicio amorfo ([www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com), junio 2010) y suponiendo un tipo de cambio de \$17 pesos/euro como al inicio del año 2010, esto para obtener cómo afecta la variación en el tipo de cambio en un mercado global, depreciación de maquinaria y equipo a 10 años.

Para el desarrollo del escenario n° 3 se tomaron en cuenta las consideraciones hechas en el escenario n° 1, pero además se determinó cuanto sería el monto adecuado de la maquinaria y equipo para hacer rentable el proyecto.

Se consideró necesario recurrir al financiamiento para coadyuvar a la puesta en operación de la planta de producción. Las tasas de interés consideradas fueron 14.50% en bancos mexicanos, 13% FICEN y 1.21% de tasa libor del European Investment Bank. El tipo de cambio considerado en el escenario 1 y 3 fue de \$15.47 pesos/€ y en el escenario 2 de \$17 pesos/€, respectivamente.

Se procedió a la evaluación de la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Presente Neto (VPN).

## **REFERENCIAS.**

1. Sánchez, G., Dauahuare, M. (2003), Tesis Profesional: ¡Un problema!, ¡Una hipótesis!, ¡Una solución!, México, UNAM Cuautitlan.
2. Ibídem

# **CAPÍTULO 1. GLOBALIZACIÓN ECONÓMICA.**

## **1.1 Emergencia de la globalización económica.**

El Sistema Económico Capitalista (SEC) de acuerdo a Martínez (1), tiene una dilatada trayectoria expansiva, de aumento de relaciones externas, de apertura, de captación e integración de espacios bajo su lógica. Siempre ha estado dispuesto a extenderse a todo lo que resultaba alcanzable, nunca ha sido un sistema que se conformara con lo que ya abarcaba, nunca ha sido paciente y auto contenido. Esas actitudes le son ajenas, porque por su propia idiosincrasia es insaciable.

Hace muchos siglos que algunas de esas relaciones alcanzaron nivel mundial, creando un poco de globalización. Pero desde entonces, más y más planos se han incorporado al proceso, nuevos espacios han hecho más veraz la dimensión mundial de sus interrelaciones, mayor la intensidad de los flujos de derivados, de los intereses constituidos a partir de esa trama de conexiones. La Globalización Económica (GE) es por tanto, un proceso con fases sucesivas. Y lo que es pertinente para la primera se queda corto al referirlo a la segunda y lo que conviene a la enésima es un traje excesivo para las anteriores.

Una primera fase la situaría en el giro imperialista del capitalismo durante las últimas décadas del siglo XIX. En ellas aparece un nuevo tipo de empresa con indudable poder de mercado, el capital productivo y bancario se combinan posibilitando nuevas formas de centralización, los capitales empiezan a ser exportados y las grandes potencias pugnan por el reparto del mundo. Sin duda estamos ante manifestaciones de globalización, cambios-estudiados por los teóricos del imperialismo-, que posibilitaron una nueva forma del funcionamiento del capitalismo.

Pero también lo es la aparición de múltiples rasgos sobrevenidos con posterioridad: desaparición del modelo patrón oro, gran depresión, conflictos bélicos de ámbito mundial, modificación de la hegemonía, pleno nacimiento de las empresas transnacionales, vigencia y crisis del modelo de desarrollo fordista, ruptura o modificación del paradigma tecnológico.

### **La globalización ayer y hoy.**

Si bien es cierto que existen similitudes entre la economía mundial de hace un siglo y la actual, también lo es que hay importantes diferencias, entre las que se destacan las siguientes:

- 1) La potencia hegemónica no sólo era distinta a la actual, si no que su papel también era muy diferente, sobre todo respecto al flujo ahorro-inversión, ya que mientras el Reino Unido era un fuerte exportador neto de capital, los Estados Unidos ha sido más bien un importador neto.
- 2) Otra diferencia importante radica en la movilidad del factor trabajo, mucho mayor hace un siglo que en la actualidad, como lo demuestra el flujo migratorio que entre 1870 y 1910 implicó que un 19% de la población activa



de Europa emigrara, haciendo aumentar en un 49% la población activa de los Estados Unidos, Canadá, Australia y Argentina.

- 3) Pero la que quizá podría ser la distinción crucial, es la del surgimiento del Estado del Bienestar y su contrato social con claros compromisos en materia de estabilización, políticas de protección social y empleo, los cuales están amenazados por los embates de la reciente globalización.

La primera etapa de globalización se desarrollo desde finales del siglo XIX hasta la primera guerra mundial y se caracterizó por un fuerte crecimiento del comercio y de la inversión foránea, en particular de los flujos financieros, con una participación en el PIB parecida a la actual. Se considera que el período comprendido entre 1895 y 1914 constituyó la “edad de oro” del comercio y la inversión mundial.

Los avances en medios de comunicación y de transporte, tales como el telégrafo y los vehículos con motor de combustión interna, jugaron un papel importante para reducir los costos y tiempos en las transacciones comerciales de aquella época. Calva (2)

### **El comercio de bienes.**

Mientras que la proporción de bienes comerciables respecto al PIB de hoy es más o menos semejante a la de hace un siglo, el comercio exterior es en la actualidad mucho mayor si se mide como porcentaje de la producción de bienes comerciables. Ello es así debido a que la proporción de exportaciones respecto a la producción de bienes comerciables pasó, de fines del siglo XIX a fines del siglo XX, de cerca de 20, a más de 40 por ciento.

La importancia del comercio también se manifiesta en que su papel económico era mucho más prominente en 1993 que en 1909, como en el caso de bienes de equipo (maquinaria y equipo de transporte) que hace un siglo escasamente se comercializaban a nivel internacional. Incluso la comercialización de productos mucho más comunes de antaño, como el trigo, el carbón y el tabaco, es en la actualidad mucho mayor como proporción de su producción.

En relación al volumen de bienes intercambiados puede no reflejar el grado de integración del mercado, ya que dicho volumen se incrementa por razones ajenas a esta y puede disminuir por causas que no guardan relación alguna con la desintegración del mercado. Es por ello que O'Rourke y Williamson, Calva (3), señalan que el costo de trasladar bienes entre mercados es lo que cuenta y por tanto deberían examinarse los diferenciales de precio entre los mercados.

Actualmente los bienes agrícolas básicos y materias primas, como petróleo o trigo, se intercambian en mercados globales bien organizados. Goodwin analiza el precio del trigo en cinco de los principales mercados mundiales y encuentra que la ley del precio único funciona. “Es claro que los precios en el mercado nacional pueden diferir debido a las tarifas a la importación, a las subvenciones internas o los costos de transporte, pero unos mercados

internacionales bien integrados establecen un precio base de referencia (casi siempre en dólares) para los bienes”.

Opuestamente, en 1870, por ejemplo, el precio de trigo en Liverpool era superior en 60% al de Chicago; hacia 1912 ese diferencial se redujo a sólo 15%. Este proceso de convergencia ocurrió de manera generalizada en otros muchos bienes, lo que permite afirmar que la convergencia de precios es una pieza clave en la integración de mercados. Calva (3)

### **El comercio de servicios.**

Al presente, no se tienen datos para comparar el comercio de servicios anterior a la primera guerra mundial debido, en parte, a que el tipo de comercio era mucho más pequeño. Del período previo a 1913 destacan actividades como transporte marítimo y turismo, con 3% de las exportaciones de Estados Unidos en 1900, mientras que hoy alcanzan 16%. Estas dos actividades siguen siendo las principales entre las exportaciones de servicios, en tanto representan 40% de las mismas. Otros rubros importantes son las regalías y los honorarios; servicios como finanzas, educación, telecomunicaciones y seguros (los de más rápido crecimiento en las exportaciones), tenían poca relevancia hace un siglo.

### **El papel de las multinacionales.**

Las empresas multinacionales ya existían a finales del siglo XIX, pero fueron más una excepción que la regla, como la prueban la Standard Oil, la Singer y otras pocas grandes compañías. Si bien es cierto que los flujos de capital entre países fueron cuantitativamente importantes en la economía mundial anterior a 1913, también lo es que la mayor parte de dichos flujos representaron inversiones de cartera, sin relación con el comercio, la producción y las inversiones directas. Calva (4)

### **La integración comercial.**

Acorde con la referencia antes citada, con datos de 1909 y 1995, Bordo, Eichengreen e Irwin (1999) calculan un índice para medir el comercio intraindustrial que, basado en una fórmula de Gruebel-Lloyd, tendría un valor de uno si todo el comercio es de ese tipo y de cero si todo es interindustrial. Los resultados son 0.78 para 1995 y 0.53 para 1909, que no sólo demuestran un incremento en el comercio intraindustrial a lo largo del siglo XX, sino también la importancia de éste en el patrón comercial de hace un siglo.

¿Hay en la actualidad una más profunda integración comercial comparada con lo que existió hace un siglo? Para Bordo, Calva (5), la respuesta es sí, ya que la fuerte caída de los costos de transporte en la segunda mitad del siglo XIX, que fue factor central en la integración del mercado mundial de la época. Debe sumarse las medidas políticas adoptadas de mediados del siglo XX en adelante con el fin de reducir las barreras arancelarias.

No obstante, la política de liberalización comercial impulsada en la última década del siglo XIX no logró una mayor integración comercial como la ocurrida a finales del siglo XX.

### **La integración financiera.**

Es claro que la integración financiera no es un fenómeno nuevo, como lo muestran los datos de flujos de capital para fines del siglo XIX y principios del XX; pero más allá de lo cuantitativo, lo novedoso es la composición actual de tales flujos, así como la forma en que se utilizan y su relación con la actividad económica, todo lo cual hace patentes los profundos cambios cualitativos del último siglo y que, de una u otra forma, explican muchos aspectos de la polémica entre la globalización de ayer y la de hoy.

Durante la primera etapa de globalización los flujos de capital dieron soporte a cierta división del trabajo entre los países centrales productores de manufacturas y los periféricos exportadores de materias primas. En este sentido, la mayor parte de los préstamos se destinó a la construcción de la infraestructura necesaria para la exportación primaria, lo que, junto con los bonos gubernamentales, absorbió la casi totalidad del capital en préstamo. Calva (6)

En cuanto al flujo de capitales posterior a la segunda guerra mundial (segunda etapa de la globalización) conforme a Calva (7), estuvo mucho más ligado con la actividad comercial e industrial. En la tercera y actual etapa de la globalización este rasgo también se perderá, ya que, antes del colapso de Bretton Woods (1971), el 90% de las transacciones financieras correspondía a inversiones productivas y a operaciones comerciales, pero después casi la misma proporción (88%) de los movimientos financieros a escala mundial han sido de carácter especulativo.

Otra diferencia central, ligada con la anterior, es que antes predominaban los movimientos de capital a largo plazo, mientras que ahora son los de corto plazo los mayoritarios. Si además del predominio de los flujos especulativos de corto plazo se considera la cantidad total de capital en circulación, puede entenderse que en sentido estricto sólo en el sector financiero se presenta una verdadera globalización.

### **Aspectos conceptuales.**

Se pueden diferenciar conceptualmente las estrategias que emplean las empresas que protagonizan la competencia en el mercado mundial.

Estrategia Multinacional: Para alcanzar sus objetivos estratégicos, este tipo de compañías se enfoca en los requerimientos de cada nación, en identificar las preferencias locales de la gente, para adaptar los productos y servicios que ofrece, de acuerdo a las características de la industria y regulaciones gubernamentales locales. Inclusive puede desarrollar nuevos productos con sus propios recursos, en cuanto a los costos, niveles de precio y ganancia se adapta a la base de la nación en donde está establecida. Normalmente ese

nivel de independencia genera empresas muy poco flexibles e inevitablemente sufren problemas de ineficiencia y una poca habilidad de aprovechar los conocimientos de otras regiones.

Usualmente las compañías europeas trabajan bajo este esquema.

**Estrategia Internacional:** Las compañías que se basan en esta estrategia, desarrollan y conceptualizan innovaciones para una base de consumo mundial. Se rigen para decisiones de mercado de acuerdo a la casa matriz, que normalmente se encuentran localizadas en países de alto nivel de desarrollo, y transfieren nuevos procesos, productos y servicios a países de bajo nivel de desarrollo, ejemplos típicos de empresas son: P&G, Kraft, Pfizer y GE. Existen limitaciones para desarrollar nuevos productos locales, prefieren explotar productos ya probados. Padecen de flexibilidad y eficiencia.

**Estrategia Global:** Se basan en operaciones centralizadas y de gran escala. Su meta es alcanzar siempre los mejores costos y el mejor nivel de calidad. Normalmente las compañías Japonesas trabajan bajo este tipo de estrategia, han aprendido que la eficiencia es un resultado del compromiso de la flexibilidad y el aprendizaje. Sufren típicamente de regulaciones arancelarias a las importaciones entre países y el desarrollo de nuevos productos se basa sólo en donde el centro de Investigación y Desarrollo (I+D) se localiza.

**Estrategia Transnacional:** Las compañías transnacionales identifican los pros y los contras de las estrategias antes mencionadas y las consideran como parcialidades. Se basan en que para ser mundialmente competitivos, los costos y las ganancias deben ser administrados al mismo tiempo, la eficiencia y la innovación son ambos de suma importancia, y las innovaciones pueden surgir de cualquier área de la empresa.

Pueden relocalizar sus recursos de acuerdo a qué lugar les ofrece las mejores ventajas, tal vez el área productiva en países de bajo costo de mano de obra, su base de I+D en países de alto nivel de desarrollo intelectual, sus operaciones financieras a las ciudades más importantes del mercado financiero, de acuerdo a niveles de tasas de interés o mejores regulaciones gubernamentales.

Mejoran las estrategias de las compañías globales al concentrar sus recursos y explotar las economías de escala, dispersan sus recursos para ser más eficientes en los mercados locales como lo hacen las multinacionales y centralizan los recursos clave para potenciar el desarrollo y la innovación pero descentralizan otros para ser competitivos mundialmente como lo hacen las compañías internacionales. Bartlet (8)

### **El debate ideológico sobre la globalización.**

¿Qué es la globalización?

Globalización, fenómeno cualitativamente nuevo que se hace posible a partir de la coincidencia en el tiempo de tres procesos interdependientes con su

propia lógica interna: la crisis y derrumbe del socialismo real, el desarrollo vertiginoso de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación (era de la información) y del neoliberalismo. Sin estos tres procesos que expresan el derrumbe del sistema de Bandung, del modelo soviético y del debilitamiento del estado de bienestar, la globalización no sería posible.

Su origen puede situarse a principios de los noventa y hace posible que por primera vez los empresarios transnacionales desempeñen un papel clave, no sólo en el manejo de la economía, si no de la sociedad en su conjunto. Este proceso tiende a socavar no sólo los cimientos de las economías nacionales, sino también el de los Estados nacionales entendidos en un sentido tradicional.

La declinación de la soberanía de los Estados-naciones no significa que la soberanía como tal haya declinado. Pese a estas transformaciones, los controles políticos, las funciones del Estado, y los mecanismos regulatorios han seguido dirigiendo el reino de la producción económica, social y del intercambio. Lo que ocurre es que la soberanía asume una nueva forma, integrada por una nueva serie de organismos nacionales y supranacionales vinculados y unidos bajo una única lógica de mando. Esta nueva forma global de soberanía es lo que algunos autores denominan Imperio.

No es cierto que los Estados se estén perdiendo, lo cual se afirma con frecuencia para justificar el desmantelamiento del estado de bienestar (o el de malestar en el caso de América Latina) y justificar políticas impopulares que se presentan como consecuencia de la globalización. Las políticas Neoliberales en Europa, tienden a reducir los impuestos e inclusive también las de la socialdemocracia devenida social-liberalismo, pero las encuestas muestran en el caso de Europa la ciudadanía prefiere que se mejoren los servicios públicos antes que se bajen los impuestos.

La globalización tiende a crear espacios económicos transnacionales de empresas que llevan a cabo procesos de producción, distribución en distintas partes del planeta y que pagan impuestos, si los pagan, donde más les conviene. Crean espacios sociales transnacionales, como los propios de las comunidades mexicanas y portorriqueñas en Estados Unidos con vínculos con sus países de origen. Da lugar a que emerja una cultura mundial (*World culture*) de seriales como Dallas: de productos como Coca Light y Jeans.

Limita la soberanía nacional no sólo a niveles económicos, sino también políticos como el caso nuevo de Pinochet y en el del terrorismo y la droga, que tuvo en Noriega y en la invasión a Panamá (1989) un antecedente emblemático de lo ocurrido con el ataque de la OTAN a Serbia. Es precisamente uno de los forjadores del capitalismo especulativo –George Soros- quién, en un libro sobre la crisis del capitalismo mundial, denuncia la relación desigual entre centro y periferia, afirmando que “si la economía y las finanzas son abandonadas a las fuerzas del mercado, conducirán al mundo al caos y a la caída del sistema capitalista mundial”. López (9)

Hill (10) ofrece una definición de globalización con dos componentes principales, la globalización de la producción y de mercados:

- a) Globalización: Se refiere al cambio hacia una economía mundial con mayor grado de integración e interdependencia. Rompen barreras que impedían el comercio y la inversión internacional, diferencias nacionales en torno a la regulación gubernamental, la cultura y los sistemas rectores de negocios.
- b) Globalización de la producción: Tendencia de las firmas individuales a dispersar partes de sus procesos productivos en distintos lugares alrededor del mundo, con el fin de obtener ventaja de las diferencias tanto en costos como en la calidad de los factores de producción.
- c) Globalización de Mercados: Desplazamiento de un sistema económico en el que los mercados nacionales son entidades diferenciadas y aisladas por barreras comerciales, espaciales, temporales y culturales, a otro sistema en el que los mercados nacionales se funden en un mercado global.

#### Delimitación de la Globalización.

Resultado de un proceso histórico derivado de la apertura e interrelación entre los espacios, del aumento de las relaciones externas. Cobra sentido hablar de la globalización cuando las interrelaciones y relaciones externas abarcan el espacio mundial. Así, la globalización es sinónimo de mundialización, algo que puede tener relaciones de parentesco con la apertura al exterior pero que tiene rasgos específicos que la identifican como caso singular o fase superior dentro de esa familia.

Es importante tener en cuenta que la mundialización económica es uno de los resultados del sistema capitalista, la globalización económica, que se inscribe en el marco general de la economía mundializada, es un fenómeno relativamente nuevo que se basa en las capacidades de producción, distribución, intercambio y consumo mundial en tiempo real, lo cual implica una importante movilidad de mercancías y de factores productivos.

Cuando el ámbito mundial se afirma como espacio de origen de causas, de funcionamiento y reproducción de relaciones y comportamientos determinantes, de incidencia de impactos y consecuencias. El grado de globalización será tanto mayor cuanto más intensa sea esa afirmación y menos relevante los factores de otra procedencia.

La globalización se nos presenta como algo poliédrico, porque son muchas las manifestaciones que en el mundo actual tienen ese carácter. Hay comportamientos ecológicos, comunicacionales, culturales, ideológicos, políticos, sociales, técnicos, militares y económicos que reúnen las condiciones para ser considerados globales. Con independencia de que puedan ser un poco, algo, bastante, mucho o totalmente globales.

Entonces la globalización de la economía es la traslación al espacio mundial de la producción, distribución, intercambio y consumo que realizan socialmente los

seres humanos. Un conjunto de actividades que para perdurar necesitan superar el comportamiento anecdótico y anclarse en pautas repetitivas de conducta, en complementariedades, en leyes de comportamiento dotadas de una lógica suficiente. Martínez, (11)

### **Factores determinantes de la globalización actual**

Al concluir la etapa de la “edad de oro” del comercio y la inversión a nivel mundial (comprendida entre 1895 y 1914), sucedió que desde la primera guerra mundial a la gran depresión de 1929-1933 hubo un claro retroceso en el comercio internacional, siendo de tal magnitud que la proporción del comercio de mercancías respecto al PIB de 1913 no se volvió a alcanzar si no hasta finales de los sesenta y a lo largo de los setenta (cuadro 1), aunque países como Japón, El Reino Unido y Australia aún no lo habían recuperado en 1990.

**Cuadro 1.**  
**Índices de comercio exterior en relación con el PIB**

<b>País</b>	<b>1890</b>	<b>1970</b>	<b>1990</b>
Australia	15.7	11.5	13.4
Canadá	12.8	18.0	22
Dinamarca	24	23.3	24.3
Francia	14.2	11.9	17.1
Alemania	15.9	16.5	24
Italia	9.7	12.8	15.9
Japón	5.1	8.3	8.4
Noruega	21.8	27.6	28.8
Suiza	23.6	19.7	23.5
Reino Unido	27.3	16.5	20.6
Estados Unidos	5.6	4.1	8.0

Fuente: Calva, José Luis (2008). Globalización y bloques económicos: mitos y realidades, agenda para el desarrollo, Vol.1, Porrúa UNAM, México.

La segunda etapa, que fue de transición, comenzó en los cincuenta y se prolongó durante toda la década siguiente hasta concluir en los setenta por el menor crecimiento de la productividad y el inicio de una época de estancamiento con inflación en los Estados Unidos y Europa. Fue también un período de rápida expansión comercial, así como de gran crecimiento de la Inversión Extranjera Directa (IED).

Actualmente la etapa de la globalización, iniciada durante los años ochenta, se distingue de sus predecesoras por los siguientes factores, que pueden considerarse como determinantes de esta etapa:

- El papel de las nuevas tecnologías de la información y comunicación.
- La aparición de empresas globales.
- La mayor internacionalización de los mercados financieros.
- La desregulación en países miembros de la OCDE.
- El incremento del comercio intraindustrial e intrafirma.

- La apertura de países no miembros de la OCDE.
- El nuevo tipo de organización flexible en la producción
- El derrumbe del bloque socialista.

En efecto, además de los profundos cambios en el patrón productivo inducidos por las nuevas tecnologías y de la importancia que los flujos financieros han alcanzado (las transacciones internacionales ya promediaban al inicio de los años noventa 1.2 billones de dólares por día, es decir, unas 100 veces el valor total del comercio mundial en manufacturas y servicios), se afirma que la importancia de la etapa actual consiste en que se ha permitido que buena parte del mundo menos desarrollado se integre al mercado mundial mediante procesos de liberalización, privatización y desregulación.

Por ello, “desde el punto de vista de la OCDE, la apertura masiva de los países no pertenecientes a esa organización es vista por algunos como la creación de nuevas y vastas áreas para la redituable inversión y crecimiento...” Calva (12). Si bien esta afirmación tiene su dosis de verdad, sin embargo habría que matizarla a la luz de las grandes desigualdades económicas y sociales a nivel mundial.

Cabe señalar que la fuerte internacionalización financiera, así como la gran fluctuación monetaria que provocó en los años ochenta y noventa, influyeron en cierta medida en la localización física de la producción, ya que la volatilidad de ese período, en particular intensa fuera de los países de la OCDE, llevó a las empresas a ubicarse al interior de las regiones más desarrolladas y estables.

Una de las diferencias de la actual globalización respecto a su predecesora de fines del siglo XIX es la mayor densidad e interdependencia de las redes, en particular las de empresas globales; así mismo, el proceso de integración económica internacional entraña una mayor actividad estatal, debido –según Summers (1999)- a que los gobiernos modernos por sí mismos están haciendo mucho más. Calva (13)

De acuerdo a la referencia antes citada: *“Para responder a la pregunta de si es realmente distinta la globalización actual a la de hace un siglo, Bordo, Eichengreen e Irwin (1999) señalan que, para empezar, el comercio de hoy es más importante que el de ayer debido a que:*

- *El comercio internacional supone una proporción mayor de bienes comerciables.*
- *El intercambio de servicios crece de forma más acelerada.*
- *Han aumentado mucho la producción y el comercio de las empresas multinacionales.*

*La importancia concedida al comercio en la actualidad se acrecienta al considerar el de los servicios. Alguna vez considerados como no comerciables, éstos se han convertido en un importante componente de la actividad comercial de Estados Unidos, ya que si en 1960 la exportación de servicios representó el 1.0% del PNB, en 1997 llegó al 3.4%. Por otro lado, la proporción de exportaciones de servicios respecto al valor añadido en servicios fue de 1.7%*



*en 1960, mientras que en 1997 alcanzó el 5.1%. Aunque bajó en comparación con el de bienes comerciables, esta proporción ha aumentado con rapidez y anticipa un crecimiento aún mayor para el comercio de servicios.”*

Desde otra perspectiva, lo anterior significa que la cadena productiva de muchas manufacturas se ha fragmentado en diversos países, en cada uno de los cuales las empresas multinacionales aprovechan los recursos o servicios relativamente más baratos para minimizar sus costos y tiempos. Por esto mismo, muchas de las exportaciones-importaciones que se registran entre esos países, en realidad son operaciones entre la misma industria y/o entre subsidiarias de la misma empresa global.

Otro de los factores que contribuyó a facilitar la expansión del mercado capitalista y por tanto la etapa actual de la globalización, fue el derrumbe del bloque socialista soviético. En 1989 simbólicamente se inició con la caída del Muro de Berlín y en 1991 se consolidó con la desintegración de la Unión Soviética. Su importancia radica en la integración al mercado capitalista de los recursos disponibles en un tercio del territorio del planeta, la disponibilidad como mano de obra asalariada calificada y disciplinada, de todos los países involucrados en ese bloque.

Ya desde la década de los años 80, China había empezado este proceso de integración, y en conjunto todos estos países aislados antes de los flujos comerciales, financieros y de servicios, representan alrededor de una tercera parte de la población mundial.

### **Aplicación de políticas económicas neoliberales en el mundo.**

Al final de la década de los años 80, acorde a López (14), como producto de una reunión en la ciudad de Washington en la que participaron organismos internacionales y del gobierno de Estados Unidos (EEUU), donde se analizaron las políticas económicas que habían llevado a la crisis de la deuda en varios países de América Latina, se llegó a concluir sobre la necesidad de un cambio de estrategia.

Tales conclusiones se conocen como “El Consenso de Washington” y se sintetizan en la aplicación de los diez instrumentos de política económica neoliberal para llevar adelante el objetivo de un sistema capitalista mundial basado en la libertad del mercado para operar, donde predominan los más "aptos", donde la vida social se concibe gobernada por las leyes de la competencia y del conflicto, llevando a una selección natural de la supervivencia del más fuerte y a la eliminación del más débil.

La estructura de poder que rige al mundo vía la globalización está concentrada, en el Grupo de los 7, El Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas y el Foro de Davos, Suiza.

Esta estructura del poder hegemónico, también puede visualizarse como integrada del modo siguiente:

- 1) Las mega-corporaciones: el 96% de ellas tienen su casa matriz en ocho países, sólo el 2% de los miembros de sus directorios son extranjeros y el 85% de sus desarrollos tecnológicos se originan en el país sede de la casa matriz (sus operaciones son transnacionales pero su propiedad y directorio son totalmente nacionales).
- 2) Los gobiernos de los países centrales, en especial los ministerios de economía y hacienda ubicados en la cúspide en la estructura del poder mundial junto con las mega- corporaciones.
- 3) Las instituciones surgidas en 1944 como resultado de los acuerdos de Bretton Woods y posteriores (FMI, BM, GATT).
- 4) Las empresas de medios de comunicación masivos: periodísticas, televisivas y radiofónicas.
- 5) Los economistas legitimadores del orden neoliberal.

La discusión sobre la esencia de esta estructura de poder propia del capitalismo neoliberal en la era de la globalización, ha desaparecido de la agenda pública: se le considera un fenómeno natural, lo cual constituye la principal victoria ideológica del neoliberalismo, asociada al hecho de que en la pugna entre la sección financiera e industrial del capitalismo, la victoria le correspondió a la primera en forma de globalización neoliberal y capitalismo especulativo ante la descalificación del keynesianismo y el derrumbe del campo socialista.

Hablar de mercado financiero global como de un ente autónomo, sería un error, cuando lo que existen son naciones y grupos que van desde los grandes corporativos hasta el crimen organizado de la droga y el tráfico de armas responsables de los problemas actuales.

Si no somos capaces de promover una alternativa a las prácticas políticas y económicas de estos círculos elitistas, que expresan el poder de unas pocas naciones, y empresarios transnacionales, veremos emerger (en caso de que logremos paz, estabilidad y orden para que el actual sistema mundial no nos sumerja en el caos) un nuevo sistema-mundo alrededor del 2050, que excluirá de su ámbito a decenas de millones de seres humanos en una tierra cada vez más dañada desde el punto de vista ecológico.

La globalización ha hecho posible en lo económico el carácter crecientemente especulativo –y no ya productivo- del capitalismo, vía movimientos vertiginosos de los capitales en forma virtual buscando las mejores oportunidades y tasas de ganancia, retirándose velozmente ante determinados signos de inseguridad (efecto tequila, crisis asiática, corralito financiero en Argentina, etc.)

Al promediar la década de los años noventa, más del 90% de las transacciones mundiales en divisas correspondió a movimientos de compra y venta por períodos de siete días como máximo. La globalización ha tendido a arrasar con las identidades culturales y a convertirlas en world culture en un proceso de mcdonalización creciente. López, (15)

Inevitablemente la soberanía de los Estados tendrá que aceptar limitaciones, pero para que esto fuese equitativo y universalmente aceptado habría que

lograr que en esa estructura elitista de poder que se ha mencionado, tuviesen también participación (y ya entonces no sería elitista y sería otra estructura) voz y voto los países del Sur, independientemente de su riqueza y tamaño.

### **Globalización y desigualdad.**

Entre algunos de los factores más importantes de la desigualdad actual, está, un cambio en la lógica de la visión clásica del comercio internacional, con su tendencia a la igualación de los precios de los factores productivos y, por tanto, a una cierta homogeneización, frente a un predominio cada vez mayor de la lógica de la ventaja comparativa, la que todos los países podían conseguir con la división internacional del trabajo, la evidencia empírica se ha encargado de mostrar que esto no es cierto en todos los casos.

Otro de los elementos que constituye un rasgo central de la actual globalización, es la creciente densidad e interdependencia de sus redes en las grandes empresas globales, lo que ha tenido repercusiones negativas en las economías atrasadas. Ello ha ocurrido no obstante que desde los años ochenta estas economías instrumentaron fuertes programas de ajuste, con énfasis en una liberalización comercial que les ayudará a insertarse en el proceso globalizador a través del crecimiento de sus exportaciones, lo que en pocos casos ha tenido éxito.

Para los países atrasados atender las mejoras productivas es tan importante como una buena infraestructura exportadora o la comercialización de sus productos. El análisis de la cadena comercial subraya el destacado papel de los compradores internacionales y de las estrategias regionales que, junto con los principales productores y minoristas, aplican para controlar el acceso a los mercados de exportación.

En este sentido, buena parte de los países menos desarrollados depende del funcionamiento de las cadenas comerciales, por lo que una razón de que ganen relativamente menos en la globalización es que no desempeñan el papel de socios igualitarios en tales cadenas.

Mejores posibilidades de acceso a los avances tecnológicos y productivos, vitales para el crecimiento económico, han estado distribuidas de forma muy desigual. Esta situación ha cobrado mayor relevancia en las últimas décadas debido a que la intensidad del cambio tecnológico ha requerido de cuantiosos fondos para financiar la I+D. Como de ello depende participar con ventaja en las cadenas de comercialización, se cierra el círculo vicioso para los productores pobres, mientras se amplía con rapidez la distancia que los separa de quienes van al frente.

Al hablar de lo que caracteriza la construcción del nuevo mundo global, es precisamente la creciente interconexión de sus miembros, los datos del intercambio comercial de manufacturas a nivel mundial muestran un panorama muy diferente. Como se muestra en el cuadro 2, sólo 24 países de la OCDE pudieron, de 1980 a 1990, elevar su participación, además de otros 11 en desarrollo; por el contrario, de casi 150 naciones de este último grupo la

participación se redujo, mientras que la de un centenar de los más pobres disminuyó al mínimo, cuando ya era de por sí baja.

Cuadro 2.  
Cuotas relativas del mercado mundial de bienes manufacturados.

	Exportaciones	Exportaciones	Importaciones	Importaciones
	1980	1990	1980	1990
Países Industrializados (24)	62.9	72.4	67.9	72.1
Grupo de los siete (G7)	45.2	51.8	48.2	51.9
La Triada (Estados Unidos, Europa y Japón)	54.8	64	59.5	63.8
Países en desarrollo (148)	37.1	27.6	32.1	27.9
Países en desarrollo dinámicos (11)	7.3	14.6	8.8	13.5
Países más pobres (102)	7.9	1.4	9.0	4.9

Fuente: Calva, José Luis (2008). Globalización y bloques económicos: mitos y realidades, agenda para el desarrollo, Vol.1, Porrúa UNAM, México.

Al analizar esta información por regiones la situación no es diferente, ya que es en Asia Pacífico, Europa Occidental y América del Norte en donde se concentran los intercambios comerciales, además de ser las áreas más dinámicas entre 1970 y 1990, particularmente la primera. Si esta tendencia continúa los siguientes veinte años, la participación de África, América Latina, Rusia y Europa Centro-Oriental (39.2% del comercio mundial en 1970 y 26.4% en 1990) se podría reducir al 5% en el 2020. Eso es desconexión y tal es la nueva división internacional entre el creciente mundo “global” integrado y los fragmentos cada vez mayores excluidos de la Triada. Calva (16)

## 1.2 Impacto de la globalización en América Latina.

Acorde con información de López (17), *“en cuanto a la CEPAL se pasó del proyecto cepalino de sustitución de importaciones y fortalecimiento del Estado, a las dictaduras militares y luego al modelo neoliberal, para llegar a los noventa a lo que se le denominó Nuevo Modelo Económico. El drama parece consistir en que, mientras en los cincuentas, en la era del CEPAL, existía un sujeto político y social en la región en la forma de líderes populistas e incipiente empresariado industrial, que aspiraba a un desarrollo nacional autónomo, en los noventa y principios del siglo XXI esa voluntad política y económica no parece estar tan presente en los sectores empresariales- e incluso políticos- de ciertos países de la región”*.

En cuanto a la tendencia hacia la transnacionalización y el carácter desnacionalizador que ha tenido en el caso de la región; la falta de capacidad

de adaptarse al nuevo paradigma tecnológico, y la crisis de paradigmas y alternativas, son desafíos que enfrenta la región en el tránsito de una sociedad de producción a otra del conocimiento.

Clave para solucionar estos retos, es la existencia o no de voluntad política para realizar los inaplazables cambios. La democracia ha sido viable en el marco denominado capitalismo dependiente con exclusión social. Sólo tienen éxito los países capaces de poner en ejecución una concepción propia y endógena del desarrollo y, sobre esta base, integrarse al sistema mundial.

Es por tanto el Estado nacional el que debe crear la estrategia de desarrollo necesaria e implementar políticas que fortalezcan las empresas nacionales. El tránsito del ajuste estructural, a la “retórica” del ajuste con rostro humano y luego social, no parece ofrecer perspectivas realistas de equidad y desarrollo.

La inversión ha huido de los mercados latinoamericanos. De entre las 10 monedas que mayor perdieron valor en el 2002 frente al dólar 6 son latinoamericanas: el peso argentino cayó en un 72%, el bolívar venezolano 44%, el peso uruguayo 40%, el real brasileño 27%, el peso colombiano 15%, y el peso mexicano 6%.

Otros signos de la crisis en Latinoamérica, es la deserción escolar que abarca un 37% entre los adolescentes, el que los flujos de capital hayan descendido de 326,000 millones de dólares en 1996 a 130,000 en el 2002; y el que la deuda externa represente el 50% del PIB en la región. López (18)

Pudiera parecer paradójico que en el gobierno del presidente Bush, mientras en EE.UU. se instauraba un gobierno de extrema derecha que adoptó una cultura imperial y rechazaba el multilateralismo, a la vez que incrementaba los gastos militares y las presiones para lograr una adhesión incondicional en el plano interno (Congreso) e Internacional de los aliados del gobierno de EE.UU.; En América Latina se desarrollaba aceleradamente un nuevo liderazgo político de centro izquierda y movimientos sociales anti sistémicos, pese a ser la región más directamente sometida a EE.UU.

Atestiguan la anterior afirmación la crisis del proyecto Fox en México, la recuperación del sandinismo en Nicaragua y del Farabundo Martí en El Salvador, la radicalización en torno a Chávez en Venezuela, la reagrupación de las FARC, y el ELN en Colombia ante el intento de liquidación militar, los resultados de las elecciones en Ecuador, el movimiento indígena en Bolivia, el renacimiento del APRA y de la izquierda unida en Perú, el desmoronamiento del sistema neoliberal en Argentina, la evolución y fortalecimiento del sistema cubano, pese al embargo/bloqueo, la victoria de Lula y del PT en Brasil, y la fusión como en un crisol de este nuevo pluralismo anti-sistémico en el Foro de Porto Alegre.

Mientras Asia, pese a su diversidad y diversos espacios, está avanzando, América Latina, el Mundo Árabe, y el África subsahariana parecen buscar formas originales al verse excluidos del “nuevo orden internacional” y de la globalización neoliberal, y son sin duda volcanes en erupción. López (19)

## **Las nuevas transnacionales de América Latina.**

El mundo empresarial cambio de manera extraordinaria en la última década. Están surgiendo nuevas multinacionales en países como Brasil, India, China, Sudáfrica y México, con lo que se altera rápidamente todo el tablero mundial de empresas.

En algunos sectores, como los del acero y el cemento, los líderes mundiales no son ya empresas de países desarrollados. Por ejemplo, en el 2006, el grupo indio Mittal asumió el control de su rival europea Arcelor para transformarse en líder del sector del acero, en tanto que en el sector del cemento, Cemex de México alcanzo a gigantes como Lafarge (francesa) y Holcim (suiza). En el 2006, la compra de la empresa Inco, con base en Canadá, colocó al conglomerado minero brasileño Compañía Vale do Río Doce (en adelante Vale) en la cúspide de las categorías internacionales, junto a las anglo australianas BHP Billiton y Río Tinto.

Entre el 2007 y el 2008, el grupo indio Tata se adueñó de las joyas de la industria británica del acero y del automóvil, en tanto que en Asia, conglomerados surcoreanos como Samsung y LG o Posco son ahora pesos pesados mundiales, seguidos de cerca por empresas chinas de la próxima generación, como Huawei o Lenovo. Santiso (20)

Los países de mercados emergentes no solo son lugar de destino del capital extranjero, sino que se han transformado con rapidez en inversores importantes en el exterior. Como receptores potenciales de la inversión mundial, en el 2008, China e India ocupan el primero y segundo lugar, seguidos de cerca por los Estados Unidos; estos dos países emergentes son así los lugares preferidos donde los empresarios de las grandes empresas planean invertir en el futuro.

Por primera vez en su historia, acorde a la referencia citada anteriormente, América Latina registro más de 100.000 millones de dólares en entradas de inversión extranjera directa (IED). También Brasil y México ocuparon lugares expectables (sexto y decimonoveno, respectivamente). Como inversores, estos mismos países emergentes de primera línea viven un auge de sus propias corrientes de inversión directa en el exterior, las cuales en algunos casos superan las entradas de capital extranjero.

La IED en mercados emergentes por parte de empresas de otros países emergentes se triplico entre 1995 y el 2003, pasando de 15.000 millones de dólares a más de 45.000 millones de dólares. En el mismo periodo, la inversión de esas empresas en países de la OCDE subió de 1.000 millones de dólares a 16.000 millones.

En el 2005, de acuerdo con cifras de la Conferencia de las Naciones Unidas de Comercio y Desarrollo (UNCTAD) (21), la inversión directa de países emergentes en el extranjero llegó a la cifra sin precedentes de 133.000 millones de dólares, es decir, el 17% de las corrientes mundiales hacia el exterior. En el 2006, la IED (incluidas fusiones y adquisiciones) de las

economías en desarrollo había alcanzado a 174.000 millones de dólares, un 14% del total mundial, lo que significó para esos países una participación de 13% (por valor de 1,6 billones de dólares) en el acervo mundial de IED.

Colocando estas cifras en contexto, diremos que en 1990 las economías emergentes representaban 8% del acervo total y 5% de las corrientes de este tipo de inversión.

Los países emergentes de Asia dominan este fenómeno (en el 2005 generaban más de 60% del acervo de IED de las economías emergentes), pero América Latina también se muestra dinámica en torno a esta nueva tendencia. Según la CEPAL, en el 2007 la inversión directa de Brasil en el exterior alcanzó a cerca de 35.000 millones de dólares y la de México a casi 24.000 millones.

En el 2006, la inversión directa en el exterior de Brasil (28.000 millones de dólares) superó las entradas de IED en el país (19.000 millones de dólares). En el 2006, la IED de multinacionales latinoamericanas alcanzó un record de casi 42.000 millones de dólares (el doble que en el 2005 y el 2007), debido a importantes adquisiciones, incluida la de la australiana Rinker por Cemex por un valor de 14.000 millones de dólares. Santiso (22)

Una serie de empresas de Países Latinoamericanos son ejemplos notables de que la historia de la globalización también se escribe en América Latina: en Argentina, por ejemplo, Arcor es actualmente líder mundial en la fabricación de golosinas y el primer exportador de confituras de Argentina, Brasil y Chile, con presencia en 117 países de los cinco continentes; los fabricantes de tuberías Tenaris tienen presencia en Argentina, Brasil, México y la República Bolivariana de Venezuela, al igual que en Canadá, Italia y Japón. En el 2005, esta empresa concretó más de 85% de sus ventas fuera de América Latina.

Pero las mayores multilatinas emergentes son mexicanas y brasileñas: 85 de las 100 empresas de primera línea de la región y 35 de las 50 más rentables son originarias de estos dos países. En menos de diez años, las empresas mexicanas multiplicaron sus fusiones y adquisiciones. El total de sus inversiones fuera de México asciende a más de 25.000 millones de dólares, superando los 20.000 millones de dólares de sus pares brasileñas

México y Brasil encabezan el proceso de inversiones directas en el exterior: en el 2004, las empresas latinoamericanas en conjunto invirtieron 22.000 millones de dólares allende sus fronteras, lo que representó un salto de 500% respecto al año anterior. El incremento más espectacular lo protagonizó Brasil. De acuerdo con datos de la UNCTAD (23), las empresas brasileñas invirtieron casi 10.000 millones de dólares fuera de su país en el 2004, en comparación con apenas 250 millones el año anterior.

En el 2005, el total de inversión directa brasileña en el exterior llegó a más de 71.000 millones de dólares, superando con creces los 28.000 millones de dólares de México y los 22.000 millones de dólares de Argentina (y casi el mismo monto de Chile), con lo que Brasil se forjó la posición más sólida de América Latina en inversiones directas en el exterior: el país genera 40% del

acervo total de inversiones directas de la región en el exterior. En el 2006, según datos de CEPAL (24), la inversión directa en el exterior de la región anotó un nuevo record (42.000 millones de dólares) que duplicó los montos invertidos en el exterior tanto en el 2005 como en el 2007.

Una fuerza motriz fundamental de esta nueva ola de internacionalización ya no fue, como en décadas anteriores, solamente la presión competitiva en los mercados internos o los factores de atracción relacionados con la expansión y diversificación de las ventas, los mercados y las bases de producción. También es clave la dimensión financiera: todas estas empresas registraron aumentos de su capitalización de mercado y de su capacidad para acceder a los mercados de capital locales e internacionales a menores costos.

Empresas como Cemex o Vale pueden ahora llegar a los mercados financieros en las mismas condiciones que sus competidores de la OCDE. La nueva ola de internacionalización también trajo consigo enormes aumentos de las ventas en el exterior. Sobre la base de la clasificación de la revista *América Economía* de las 100 principales empresas latinoamericanas, se calculó qué porcentaje de las ventas totales de las empresas correspondía a ventas en el exterior. Para las empresas peruanas y chilenas de la lista, las ventas en el exterior representaron en el 2005 no menos de 70% de sus ventas totales. Santiso (25)

Pero inclusive para países como Brasil y México, con muchas más empresas en la lista, los promedios eran impresionantes: en el caso de las empresas mexicanas, 47% de sus ventas totales se efectuaba en el exterior (sobre todo dirigidas a los Estados Unidos) y en el caso de sus contrapartes brasileñas, la cifra era de 39%. El grueso de todas las exportaciones (75%) se vinculaba a la exportación de petróleo, gas y minerales, lo que no sorprende, en una región en que más de un tercio de sus exportaciones se relaciona con productos básicos.

Para entender este proceso es necesario tener en cuenta que el entorno en que evolucionaron las empresas mexicanas y brasileñas fue transformado por el ingreso masivo de fuertes competidores extranjeros en los últimos diez años. En consecuencia, entre 1991 y el 2001 el perfil de las 500 empresas más importantes establecidas en América Latina cambió radicalmente. El número de empresas estatales disminuyó muchísimo, de 20% en 1991 a menos de 9% diez años después.

En el mismo periodo, las empresas multinacionales extranjeras marcaron territorio ampliamente en la región: en 1991 representaban 27% de las 500 empresas más importantes y en el 2001 habían aumentado a 39%. La creciente competencia puso presión sobre los grupos nacionales, que tradicionalmente suministraban productos y servicios a sus mercados locales.

Empresas más dinámicas apuntaron a los mercados externos y se convirtieron en multilaterales. Algunas orientaron su expansión a determinadas zonas de América Latina, concentrándose en el MERCOSUR o en la zona andina. Otras emprendieron una estrategia continental y algunas inclusive saltaron a



mercados emergentes de otros continentes, como África y Asia, o a países de la OCDE, en particular los Estados Unidos.

Como se mencionó antes, este proceso se vio facilitado por las propicias condiciones financieras internacionales que empujaron a la baja el costo del capital en el mundo emergente y, en particular, en América Latina. Con esto mejoró el acceso de la región a mercados financieros internacionales, en tanto que sus mercados y capitalizaciones locales se desarrollaron en forma extraordinaria. A raíz de su repentino acceso al capital, las empresas latinoamericanas multiplicaron sus adquisiciones en sus mercados de origen y sobre todo en el exterior, tanto en América Latina como en otros mercados emergentes o de la OCDE.

Esto incluyó operaciones en el mercado interno, ya que a comienzos de este siglo las adquisiciones en América Latina efectuadas por empresas latinoamericanas alcanzaron los 110.000 millones de dólares. De esta cifra, más de 23.000 millones de dólares terminaron en países de la región que no eran los de origen de las empresas. En este proceso, las empresas más activas fueron las de Brasil y México. México fue líder incuestionable en este proceso, con firmas pioneras como Cemex, cuya expansión mundiales, sin duda, uno de los casos más extraordinarios de éxito de la región. Santiso (26)

De 1990 al 2006, Cemex se transformó en líder mundial entre las multinacionales emergentes en términos de adquisiciones en el exterior, con no menos de 40 operaciones en ese periodo. En el 2006, apenas diez años después de su despegue internacional, Cemex tenía presencia en cuatro continentes, más de 15.000 millones de dólares invertidos en el exterior y sucursales no solo en América Latina sino también en los Estados Unidos, el Reino Unido, España, Egipto, Indonesia y Filipinas.

2005 fue el año en que se concretó una de las transacciones más importantes jamás realizada por una compañía latinoamericana, con la adquisición de la RMC británica por cerca de 6.000 millones de dólares. Con esta compra, las ventas de Cemex en México bajaron a 21% de sus ventas totales, siendo mayores las ventas en Estados Unidos (27%) y mucho más aquellas en Europa, que en el 2005 constituía el mayor mercado de Cemex y representaba casi 40% de sus ventas totales (España absorbía 10% y el Reino Unido otro 10%).

Un año después de la adquisición en el Reino Unido, Cemex repitió su apuesta internacional al adquirir en 14.000 millones de dólares la empresa Rinker, el grupo australiano de materiales de construcción, con lo cual se convirtió en líder mundial del sector. Esta fue también la mayor adquisición concretada hasta la fecha en el sector de los materiales de construcción, superando los 9.500 millones de dólares que pago Lafarge por Blue Circle en el 2001. No obstante, la crisis financiera de 2008, obligaría a esta empresa a vender parte de los activos adquiridos.

Estas inversiones en el exterior sacaron a luz otro aspecto de la globalización de la economía mexicana. México no solo registra una de las mayores tasas de

apertura comercial entre los países emergentes (con ventas internacionales sobre todo en los Estados Unidos), sino que muchas empresas de ese país han optado por una presencia más directa en otros mercados, con establecimientos o adquisiciones muy importantes. El conglomerado Alfa, con base en Monterrey, ha establecido sociedades y alianzas estratégicas con más de 20 empresas de los Estados Unidos, Japón, Europa, Sudáfrica y México, todas ellas a la vanguardia de sus respectivos campos de acción.

El gigante de las telecomunicaciones Telmex se ha transformado en uno de los mayores competidores de la telefonía en América Latina. Junto con su vástago América Móvil, multiplicó las adquisiciones en la región, concluyendo su plan de expansión en solo dos años. En el 2005, América Móvil seguía concediendo licencias en la región. En sociedad con Bell Canadá Inc. y SBC International, creó Telecom Américas como principal vehículo de expansión en América Latina, donde es la segunda empresa más importante en el sector.

América Móvil cuenta hoy con sucursales e inversiones conjuntas en el sector de telecomunicaciones de Guatemala, Ecuador, Argentina, Brasil, Colombia, República Bolivariana de Venezuela, Estados Unidos, Puerto Rico, México y España. Santiso (27)

Otras empresas también sobresalen en otros sectores por su actividad internacional, como el grupo cervecero Modelo, activo en más de 150 países. El grupo Bimbo, fundado en 1945 en el sector agroindustrial, sigue destacándose y da ocupación a más de 80.000 personas; en los últimos años concretó un gran número de adquisiciones importantes en los Estados Unidos, donde en el 2005 efectuó casi 30% de sus ventas netas. Las compañías mexicanas han ingresado entonces en una nueva etapa de expansión que apunta a una presencia directa en el exterior, completa la etapa anterior y está vinculada a las crecientes ventas externas.

Algunos de los principales exportadores mexicanos conforme a la referencia antes citada, están alcanzando niveles significativos de ventas en el exterior. Para grupos como Nemark o Mabe las ventas internacionales representaron en el 2005, respectivamente, 82% y 69% de sus ventas totales.

Los grupos más importantes en Brasil también están avanzando a una segunda etapa en el escenario de globalización. En los últimos años se observó un aumento considerable del volumen de sus ventas fuera del país. Como en México, algunos de los principales exportadores de Brasil son empresas extranjeras, como Volvo, de Suecia, que vende en el exterior casi 50% de su producción brasileña; General Motors, Cargill y Caterpillar, estadounidenses; Fiat y Pirelli, de Italia; Renault, de Francia, y Bosch y Volkswagen, de Alemania.

Embraer, grupo aeronáutico realizó 84% de sus ventas en el exterior en 2005, mientras que Aracruz Celulose, otro exportador líder del país que vende más de 60% de su producción exportada fuera de América Latina, efectuó sus ventas esencialmente en Europa, Norteamérica y Asia.

Gerdau en el sector acerero realizó 31% de sus ventas fuera de Brasil y la cifra correspondiente para Vale, la empresa que lidera el sector minero, fue de 33%. Inclusive la petrolera Petrobras se convirtió en un gran exportador, llegando a efectuar en el exterior el 11% de sus ventas totales, tras iniciar operaciones de exploración y producción en los Estados Unidos, México, la República Bolivariana de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Nigeria y Angola.

El sector de la agroindustria, uno de los más dinámicos de Brasil, cuenta con una serie de grupos muy pujantes, como Sadia, que exporta a más de 65 países, incluidos Rusia, Japón y países del Medio Oriente, y factura casi la mitad de sus ventas en el extranjero (44%). Al igual que Sadia, otros grupos están incrementando y diversificando sus exportaciones con éxito. Es el caso de la petroquímica Braskem: el 20% de sus exportaciones va a Europa y América Latina y el 50% a Norteamérica.

Sin embargo, todos estos grupos —yendo más allá de la etapa “mercantilista”— apuntan también a sustanciales operaciones de inversión en el exterior. Las estrategias reflejan dos objetivos de vasto alcance.

Como la pionera Cemex, los grupos procuran, por un lado, ampliar sus mercados de operaciones, posicionándose en otros países emergentes, sobre todo de América Latina; por otro, desde una perspectiva más estratégica, tratan de asentarse en países de la OCDE o subir su nivel de inversión para mejorar no solo su perfil industrial, sino también el financiero, y así reducir más sus costos de capital.

Gerdau, en 2005, la productora de acero Gerdau siguió este camino, acumulando adquisiciones y comprando 40% de la española Sidenor a fines del año. La centenaria Gerdau logró posiciones importantes, no solo en América Latina (Brasil, Chile, Argentina, Colombia y Uruguay), sino también en Norteamérica (los Estados Unidos y Canadá), con lo que mejoró su perfil industrial y financiero.

En el sector de transporte y equipos, Marco Polo, líder de Brasil en autobuses, también emprendió el camino hacia una presencia mundial. Con un ingreso internacional que representa la mitad de su ingreso total, la empresa cuenta ahora con plantas manufactureras no solo en Brasil, sino también en Argentina, Colombia, México, Portugal y Sudáfrica, y exporta a más de 60 países, entre ellos Francia, el Reino Unido, Alemania, España, Portugal, los Países Bajos, México, Argentina y Arabia Saudita.

Otro gran grupo que se ha diversificado y ha emprendido una dinámica actividad internacional es Odebrecht, que está presente en cuatro continentes, vende en 50 países y obtiene más de un tercio de sus ingresos en el exterior.

Vale, la cuarta del mundo en minería, en 2005, facturaba 90% en dólares y 70% de su ingreso se originaba en el exterior (30% en Europa y otro 30% en Asia, particularmente en China y Japón). En los últimos años, concretó compras y se ha establecido en los Estados Unidos, Canadá, Francia, Bahrein y Noruega. Asimismo, emprendió un plan ambicioso de creación de una cartera

mundial de proyectos de exploración en tres continentes (los primeros y más importantes, en Perú, Argentina, Gabon, Mozambique y Australia). Santiso (28)

Por lo demás, Asia (en particular China) paso a ser uno de los objetivos principales de su expansión comercial. La propiedad de sus acciones también es mayoritariamente internacional: 70% de sus accionistas no reside en Brasil. En el 2006, la compañía dio un gran paso con la adquisición de la empresa Inco, con base en Canadá, por la cifra sin precedentes de 17.000 millones de dólares.

El de la aeronáutica es otro sector en el que destaca una empresa brasileña con gran presencia internacional, la multilatina Embraer. Como se señaló antes, Embraer es la segunda exportadora brasileña y se ha convertido en emblemática de su país: es líder internacional, como su competidora canadiense Bombardier, pero originaria de un país de economía emergente. Fue fundada en 1969 por el gobierno brasileño, con miras a alcanzar prestigio internacional, y fue privatizada en 1994 (un 20% del paquete accionario está en manos de un conglomerado de empresas europeas encabezado por Dassault Aviation y por EADS).

Actualmente emplea a 15.000 personas. A mediados del 2006, Embraer, cuarta en el mundo en la fabricación de aviones comerciales, firmo un contrato con el Grupo HNA (la aerolínea china) por 100 aviones de reacción valorados en 2.700 millones de dólares, el mayor encargo desde China recibido por esa empresa hasta la fecha. Casi al mismo tiempo, Embraer declaro que reforzaría significativamente su red de apoyo técnico en la región Asia-Pacífico con la creación de un centro logístico de partes y componentes y la instalación de un simulador de vuelo completo para sus aviones de reacción a partir del segundo semestre del 2007. Santiso (29)

### **1.3 La integración de México en la globalización.**

Reestructuración económica.

La integración de la economía mexicana a la estadounidense adquirió una expresión formal con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte. Éste es en realidad la continuación de un profundo cambio en la estructura económica mexicana iniciado en los primeros años ochenta.

Cuando concluyó el gobierno de José López Portillo en 1982, el modelo del “desarrollo estabilizador”, que en términos generales había caracterizado la dinámica económica y social de México a partir de los años cincuenta, se había desmoronado. Con una fuga incontrolable de los capitales, las reservas monetarias agotadas, el peso devaluado y el sueño petrolero hecho pedazos, fue necesario empezar una gran marcha hacia otro escenario económico que no tuviera el petróleo como centro de gravedad y el Estado dejara de ser el impulsor directo del desarrollo.

El “ajuste”, como se le llamó en ese momento al proceso de reestructuración económica, implicaba volcarse a la exportación en lugar de hacia el mercado

interno, favorecer las manufacturas y no la extracción del petróleo y reducir la participación de los salarios en la economía para impulsar un nuevo proceso de creación de capitales.

La apertura al comercio internacional fue el buque insignia del nuevo proyecto. Un paso decisivo en este sentido fue el ingreso de México al Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio (GATT) en 1986. La voluntad de apertura al comercio internacional fue tal, que incluso los aranceles a las importaciones fueron reducidos a niveles inferiores a los exigidos por este acuerdo.

En 1980 el 64% de los productos manufactureros mexicanos gozaban de ventajas proteccionistas que aseguraban un mercado interno muy dinámico; diez años después la proporción de productos protegidos había disminuido a 19%. De igual modo, los aranceles a las importaciones fueron rápidamente disminuidos como una medida para estimular la competitividad y la reciprocidad con el extranjero. Nivon (30)

La repercusión más notable del proceso de globalización, en el caso de México, ha sido un cierto debilitamiento de las políticas estatales y la transferencia del eje del desarrollo de la región central -dominada por la ciudad de México- hacia el norte del país.

Se pueden observar las consecuencias de este proceso en la redistribución regional de la dinámica económica e industrial del país: re-localización de las industrias a lo largo de la frontera; producción de una cada vez más compleja dinámica urbana-regional en ciudades del norte del país como Tijuana-San Diego y ciudad Juárez-El Paso; conexión estrecha de la actividad industrial del noreste del país con el vecino estado de Texas y de la franja agroindustrial del Pacífico con los estados del sur de los Estados Unidos.

Estos procesos afectaron y afectan la dinámica demográfica y social de la zona fronteriza. Las ciudades de la larga frontera mexicana crecieron en la última década a una tasa de 3.3%, muy superior a la tasa de crecimiento nacional, que fue de 1.8% en el mismo periodo.

Población acumulada y el crecimiento explosivo de las ciudades ha producido fenómenos nuevos: procesos comunicacionales propios de la zona de la frontera; desarrollo de agentes sociales desconocidos en el centro del país como lo es una clase obrera femenina y sin tradición sindical; organizaciones no gubernamentales con actividad binacional que vigilan el cumplimiento de los derechos humanos de los inmigrantes; artistas que ven en la frontera el desarrollo de un multiculturalismo vivo y creador.

Estos procesos han cambiado la fisonomía del desarrollo urbano industrial del país. Podemos hablar de tres grandes tendencias de transformación. La primera ha sido la pérdida del dinamismo industrial. De 1980 a 1996, el Distrito Federal, la parte central de la ciudad de México, disminuyó en más de 9% su participación en el conjunto nacional de su industria manufacturera. Este proceso es resultado del desplazamiento de la dinámica manufacturera

hacia el norte del país y de la reestructuración económica general que vive el país desde los años ochenta.

La segunda tendencia del actual desarrollo económico es su reorientación hacia las actividades financieras, comerciales y de servicios. De 1980 a 1996 el peso del sector terciario en el Distrito Federal aumentó de 66 a 77%, siendo los servicios financieros y personales los de mayor crecimiento.

Finalmente el factor a considerar es la profundización de la desigualdad interna en la distribución de la riqueza. En 1996 el PIB por habitante en el Distrito Federal era 2.6 veces más alto que el promedio nacional. Si lo comparáramos con el PIB per cápita de los estados pobres del sur del país, como Chiapas u Oaxaca, el habitante promedio del Distrito Federal era cinco veces más rico que el de aquellos estados.

El gobierno federal es totalmente consciente de esta situación. En una declaración el secretario de economía del gobierno de Vicente Fox, Luis Ernesto Derbez, señaló: "El Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN) no ha generado beneficios equitativos a todas las regiones de México, ya que mientras la tasa de crecimiento en el norte, en los últimos 10 años ha sido de 5.9%, en el sur apenas alcanzó 0.4 puntos". Nivon (31)

Cambio político.

El cambio del eje del desarrollo económico alteró las bases del acuerdo social entre las clases. La transformación política se puede observar en dos aspectos: una nueva configuración de las relaciones de los agentes sociales en la que la autonomía es una característica fundamental y la lucha contra la exclusión generada por las nuevas políticas macroeconómicas.

A partir de los años setenta, los movimientos sociales se caracterizaron por la combinación de sus demandas particulares con la lucha por construir sociedad plenamente democrática. De este modo, aunque el Estado continuó siendo su principal interlocutor, ocurrió un deslizamiento progresivo del diálogo con las instancias públicas hacia la sociedad en su conjunto. Nuevos instrumentos de acción política se hicieron necesarios, entre ellos, el que artistas, intelectuales, políticos de oposición y dirigentes sociales pudieran acceder a los medios de comunicación para contribuir a la creación de una opinión pública plural y democrática.

La apertura de espacios de prensa en los años setenta, de la radio en la siguiente década y de la televisión en los años noventa es una consecuencia de estos procesos. De esta manera los movimientos sociales compensaron su debilidad estructural apelando directamente a la política, la ideología y la cultura.

Así, los movimientos por la democratización se empataron con la construcción de una sociedad civil autónoma, que sirviera de escenario al debate de las demandas de la población. La maduración de la sociedad civil dio origen a la imagen del ciudadano poseedor de derechos y deberes frente

al Estado y la sociedad y que a la vez fuera fuente de la legitimidad del poder público.

Crear una ciudadanía fue una de las tareas principales de los movimientos sociales a través del fomento de la participación ciudadana, la educación popular, la vigilancia de los límites del poder y el cuestionamiento de los poderes extralegales de las autoridades del país.

Aunque la transformación democrática de México aún no está concluida, es notorio el cambio del sentido actual de los movimientos sociales con respecto a la etapa previa a la democratización. La regresión al sistema autoritario es un riesgo vigente del que todos los actores sociales están conscientes, pero los peligros no dependen exclusivamente de las fuerzas conservadoras.

La liberación de los agentes sociales de su dependencia estatal y la ruptura del autoritarismo tradicional incrementó la presión de ciudadanos y grupos sociales sobre el Estado. La paradoja del actual estado democrático de la sociedad mexicana es que el nuevo sistema político se ve acosado por parte de los sectores que favorecieron la superación del antiguo régimen.

Así, por un lado, poderes fácticos tradicionales como los cacicazgos regionales, las mafias del narcotráfico, algunos sectores de las élites financieras, los líderes de las corporaciones de masas y algunos representantes del conservadurismo radical, atentan contra la estabilidad. Por otro, grupos sociales que con gran convicción impulsaron la transición democrática, exigen ahora la satisfacción de demandas sociales para las que el Estado no tiene capacidad de respuesta y en su desesperación presionan al Estado con prácticas políticas al borde de la ilegalidad.

Les apoya además la imposibilidad moral de exigir a los 40 millones de pobres del país que pospongan la lucha por sus demandas en aras de la estabilidad económica. Así, el nuevo régimen político no ha disminuido la confrontación política, sino más bien la ha potenciado, pero ahora sin contar con los elementos de legitimación -como el nacionalismo, el desarrollismo o la modernización- de la etapa del autoritarismo estatal. Nivón (32)

El desarrollo cultural en los noventa.

En términos generales, el desarrollo cultural de México ha estado marcado desde mediados de los años ochenta por un proceso de transformación denominado por Néstor García Canclini (1987) como "privatización neoconservadora". En el año 1987, año de la formulación de esta caracterización, se quería indicar con esta fórmula una transformación del hacer cultural de los Estados en América Latina de acuerdo con la reorganización monetarista de las sociedades latinoamericanas.

Hasta entonces el sentido predominante del desarrollo cultural había sido la expansión del Estado en la cultura, el cual estaba asociado a una filosofía de corte nacionalista o desarrollista basado en la sustitución de las importaciones, el crecimiento del mercado interno, la expansión de la

educación y de las clases medias y la expansión –bajo control estatal- de las industrias culturales.

En México, los grandes momentos de desarrollo de las infraestructuras culturales correspondieron a los años veinte y los años sesenta. En el primer periodo tuvo lugar la institucionalización de una política cultural nacionalista lo cual dio origen a la construcción de gran cantidad de instalaciones educativas y culturales, como la Secretaría de Educación Pública.

Un nuevo empuje en los años 70, impulsó al desarrollo de la infraestructura cultural se expresó en la creación del complejo de museos de la zona de Chapultepec (Antropología, Arte Moderno, Historia Natural, etc.), el desarrollo de la gran red de teatros del Instituto Mexicano del Seguro Social y la edificación de la Unidad Cultural de Bosque con el Auditorio Nacional como articulador principal.

El freno del crecimiento de la infraestructura cultural en la República Mexicana, fue consecuencia de la reducción de los presupuestos estatales para educación y cultura. Aunque el efecto más notable de esta reducción se observó en la caída de los salarios de los trabajadores de estos campos culturales, la pobreza de las instituciones alcanzó niveles de máxima depresión.

Fue notable, y lo es hasta la fecha, la ausencia de consumibles básicos en escuelas, bibliotecas y centros de cultura, dejando a los usuarios al cargo de la provisión de los instrumentos mínimos para la operación. La consecuencia más grave de este proceso no es el riesgo de que los servicios culturales y educativos se privatizen, sino que la población enajene su confianza a favor del sector privado.

A la reducción de los presupuestos se sumó la presión por hacer que las instituciones culturales y educativas alcanzaran niveles de eficiencia similares a los de las empresas privadas. Los fondos para el fomento de diversas áreas culturales como artesanías, danza popular mexicana, distribución de libros etc. fueron reducidos al mínimo, con la intención de que se adoptaran nuevos modos de gestión de esas actividades.

Incluso importantes instituciones culturales como el Fondo de Cultura Económica o el Instituto Nacional de Bellas Artes y el Instituto Nacional de Antropología e Historia, se vieron precisados a incurrir en prácticas empresariales que suplieran la merma en sus presupuestos.

Resultados de estas políticas fueron: en primer lugar el Estado redujo su presencia en el campo de la cultura de manera significativa. Algunas áreas como la cinematográfica o la televisión pública sufrieron amputaciones y recortes presupuestarios de importancia notable. En segundo término, se fomentaron modos de gestión empresariales y la participación de empresas privadas en el campo de la cultura.



Esta última transformación es una de las más notables de este periodo. La iniciativa privada comenzó a competir con el Estado en la producción de bienes culturales y, con ello, a ser un actor importante en la organización de las relaciones culturales y políticas entre los diversos grupos que componen la sociedad. Esto, a su vez, puso en tela de juicio la legitimidad del Estado en la producción de la cultura y propició nuevos modelos de desarrollo de la creatividad y de la difusión de la cultura. Nivon (33)

#### **1.4 Crisis económica global y su impacto en la generación de la energía.**

La crisis actual tuvo su origen en una ausencia de mecanismos de regulación financiera eficaces en EEUU y el mundo, lo cual hizo posible el enorme crecimiento de las deudas hipotecarias incobrables que se trasladaron al sistema financiero norteamericano, con efectos similares a los de una enfermedad grave y contagiosa.

Los Acuerdos de Basilea II, que EEUU ha soslayado, establecieron desde 2004 que un banco no podría comprometer créditos equivalentes a 10 veces o más del valor de su patrimonio, mientras que los excesos de las instituciones norteamericanas llegaron a comprometer créditos equivalentes hasta por 35 veces sus activos.

El rescate que decidió el gobierno norteamericano por \$700,000 millones de dólares a bancos e hipotecarias, pretende impedir una desintegración financiera que agudice la crisis económica.

Esto salvará a bancos y otras instituciones financieras, al hacer que el Tesoro Norteamericano compre “deudas tóxicas”, pero al mismo tiempo el Tesoro rescatará al Banco de la Reserva Federal (FED), quien por medio de diversas acciones ya había prestado a las instituciones financieras aproximadamente mil millones de dólares. Estas acciones en EEUU sólo lograron contener la creciente especulación financiera, hasta que los gobiernos de Europa occidental acordaron hacer lo propio en octubre de 2008. Krugman (34)

Posteriormente se realizaron durante 2009 reuniones cumbre del llamado “grupo de los 20”, donde se tomaron acuerdos que pretenden coordinar las medidas para avanzar en la recuperación de la crisis. Pero parece que para consolidar tal recuperación de la estabilidad en el sistema financiero mundial, se requiere una revisión global del mismo y tal vez un acuerdo de Bretton Woods II, que atienda las nuevas circunstancias, totalmente distintas de las que se vivieron al término de la segunda guerra mundial, que dieron origen a los acuerdos originales de Bretton Woods.

No obstante que esta crisis financiera ha entrado en una etapa de relativa estabilidad, sus efectos en el ámbito económico distan de haberse neutralizado totalmente, a pesar del rescate de empresas automotrices por parte del gobierno de EEUU, y en los próximos meses habrá de conocerse si es efectivo

el inicio de la recuperación, ya anunciada por algunos especialistas y políticos en el mundo. Por cierto que México ha sido uno de los países más golpeados por esta crisis y será uno de los que tarde más tiempo en salir de ella.

La disponibilidad de energía es un requisito fundamental para hacer frente a los retos que la comunidad internacional tiene ante sí en el siglo XXI: la lucha contra la pobreza, el desarrollo económico, el cambio climático o la seguridad alimentaria y medioambiental a escala global. Los sistemas energéticos actuales no están adecuados a afrontar estos retos, de modo que se requieren grandes cambios en el modo en que la sociedad produce y consume energía tanto hoy como en el futuro.

Al evolucionar la crisis económica a nivel mundial ha mostrado claramente la fragilidad y no sostenibilidad de los mercados financieros en todo el mundo. De acuerdo al Global Renewable Energy Forum (GREF) (35), los datos científicos estiman que las emisiones de gases de efecto invernadero deben alcanzar su valor máximo para el 2020, para garantizar que hay una posibilidad de mantener el incremento de la temperatura por debajo de los 2°C respecto a la era pre-industrial.

Se estima un aumento en la inestabilidad política a medida que la población del planeta haga frente a los problemas de falta de recursos, especialmente en lo referente a comida, agua y energía. La confluencia de estas crisis y retos da lugar a un contexto único que exige aprovechar las oportunidades para alcanzar un futuro sostenible y una economía en el que se minimicen las emisiones de gases de efecto invernadero.

En cuanto a la magnitud del cambio requerido en el sector energético, este tendrá amplias consecuencias, no sólo para los sistemas energéticos, sino también para el comercio, el desarrollo de negocios, el estilo de vida, etc. Una transición hacia una economía baja en carbono no es solamente una cuestión tecnológica: también afecta a la sociedad y a la economía. Por tanto, debe reconsiderarse el modo de vida de nuestra sociedad y la forma en que se plantean las actividades económicas.

Las políticas energéticas deben orientarse a la reducción de la dependencia en los combustibles fósiles. Los siguientes acuerdos internacionales sobre mitigación del cambio climático deben tener un enfoque integral y ambicioso para afrontar la magnitud del cambio necesario. Desde este punto de vista, las energías renovables se encuentran en una posición inmejorable para jugar un papel significativo a la hora de modelar la transición energética.

Cerca de un tercio de la población mundial no tiene acceso a la electricidad, y otro tercio tiene un acceso muy limitado. Además, cerca de 2,000 millones de personas (ubicadas mayoritariamente en Asia y el África sub-sahariana) consiguen la energía para cocinar y calentar sus hogares de combustibles tradicionales tales como madera, estiércol y residuos agrícolas.

Las energías renovables permiten conciliar los objetivos de desarrollo económico y sostenibilidad medioambiental. Además, las tecnologías vinculadas a las energías renovables son en su mayor parte adecuadas para proporcionar energía a comunidades pobres en áreas aisladas.

Es ampliamente reconocido que la energía por sí misma no reduce la pobreza. No obstante, el acceso a servicios de energía fiables y económicos juega un papel importante en el desarrollo y representa un elemento esencial para la emancipación individual. La disponibilidad de energía moderna facilita en gran medida las actividades productivas y el desarrollo económico.

Una transición a una economía de bajo carbono requiere, entre otros elementos, una amplia gama de tecnologías. Algunas de estas tecnologías son ya maduras y están disponibles comercialmente, mientras que otras están todavía en etapa experimental.

Una extensa implementación del uso de energías renovables requiere abordar un amplio espectro de temas que los actuales sistemas de energía no pueden abordar. Por ejemplo, los sistemas de distribución de electricidad deberían ser rediseñados y adaptados para asimilar a una gran parte de los productores ocasionales y descentralizados, tales como los parques eólicos y las plantas fotovoltaicas.

Además, el almacenamiento de energía puede tener un papel clave a la hora de conciliar la oferta y la demanda. Con relación a esto, el hidrógeno es una tecnología prometedora que podría ser usada como amortiguador que absorbiera la producción excedente de energías renovables.

El hidrógeno producido a partir de fuentes renovables tiene el potencial de llevar los sistemas de energía a una dimensión totalmente nueva, al proveer flexibilidad y convertibilidad. Además de los aspectos relacionados a la generación de energía, las nuevas tecnologías se han convertido en un elemento clave desde la perspectiva de la demanda. En efecto, equipos y sistemas avanzados ayudan a mitigar la siempre creciente demanda de energía primaria y representan un elemento crucial en la transición a una economía baja en carbono.

Aumentar la proporción de energías renovables y mejorar la eficiencia energética son dos elementos clave para enfrentar los retos energéticos actuales. Mejorar la eficiencia energética es una de las medidas más efectivas en costos para desvincular el crecimiento económico y la degradación ambiental.

Además, incluso las proyecciones más optimistas en términos de la implementación de las energías renovables auguran un aumento de la energía basada en combustibles fósiles, por lo menos en las próximas décadas.

En otras palabras, las emisiones de gases de efecto invernadero posiblemente aumentarán en términos absolutos, aun existiendo rigurosas

políticas que promuevan las energías renovables. Teniendo esto en cuenta, la eficiencia energética es un importante aliado en la promoción de las energías renovables para poder disminuir la interferencia antropogénica en el sistema climático.

En efecto, las medidas de eficiencia energética contribuyen a intensificar los beneficios ambientales que las energías renovables tienen, y que de otro modo serían contrarrestadas por el aumento en la energía basada en combustibles fósiles.

A escala global, las políticas exitosas de fomento de la eficiencia energética y las tecnologías comercialmente disponibles permitirán disminuir significativamente la intensidad energética y las emisiones de gases de efecto invernadero.

El reto que enfrentamos es el de encontrar mecanismos que permitan aprovechar las oportunidades, realzando el enorme, aunque fragmentado, potencial de las ganancias a partir de promover la eficiencia energética. GREF (36).

### **1.5 Desarrollo Sustentable y Progreso.**

El término desarrollo sustentable se empezó a utilizar con mayor frecuencia a partir de 1987 al publicarse el informe final de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU, conocido como “Nuestro futuro común” o simplemente “Informe Brundtland” documento que se pronuncia por la preservación y salvaguarda de los recursos naturales del planeta y un crecimiento económico continuado.

La Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU que fue precedida por la ministra noruega Gro Harlem Brundtland, concluyó que debían satisfacerse las necesidades del presente sin por ello comprometer la capacidad de las generaciones futuras a la satisfacción de sus propias necesidades”. En este contexto, la protección del medio ambiente y el crecimiento económico deberían afrontarse como una cuestión única. Esta comisión posteriormente se transformaría en el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. PNUD (37)

En este concepto se integran las necesidades básicas de la presente generación, la capacidad de los sistemas naturales y las necesidades de las generaciones futuras.

Posteriormente, la Asamblea General de las Naciones Unidas convocó a la Conferencia ONU sobre el Ambiente y el Desarrollo (UN Conference on Environment and Development- UNCED). Dicha Conferencia, generalmente conocida como la “Cumbre de la Tierra”, se llevó a cabo en Río de Janeiro del 3 al 14 de junio de 1992.

A partir de allí, el concepto de desarrollo sustentable logra una gran difusión. La “Cumbre de la Tierra”, representó el punto de referencia para las políticas

gubernamentales desarrollo de las tratativas y las discusiones internacionales sobre los temas del ambiente y del desarrollo.

Uno de los objetivos de la Cumbre fue encontrar un punto de equilibrio entre las exigencias económicas, sociales y ambientales de las generaciones presentes y futuras, así como de establecer los fundamentos para una asociación entre las naciones industrializadas y los países en vías de desarrollo, de igual forma también entre los gobiernos y los sectores de la sociedad civil, que estuviera basada sobre una mutua comprensión de las recíprocas necesidades e intereses. Fundación para el Desarrollo Sustentable (38)

### **Progreso.**

En las últimas décadas ha crecido el interés por desarrollar una visión más integral del progreso que no se concentre únicamente en indicadores económicos como el Producto Interno Bruto (PIB). El PIB es una medida importante de la actividad económica; sin embargo, no fue creado para ser la única medida del progreso de una nación. Por ello, es necesario buscar consensos que incorporen aspectos sociales, ambientales y económicos a la definición y medición del progreso.

Organismos internacionales han desarrollado una plétora de indicadores en casi todas las dimensiones sociales; dando como resultado una proliferación de publicaciones y bases de datos. Organismos No Gubernamentales también han desarrollado sus propios sistemas de indicadores para monitorear tendencias económicas, sociales y ambientales, así como para la implementación de compromisos hechos por los gobiernos. En algunos países, la sociedad civil está tomando el liderazgo para convocar a la creación de conjuntos de medidas para el progreso; mientras que los gobiernos buscan nuevas formas de colaborar con la sociedad civil para legitimar su actuación.

Un movimiento global está emergiendo para reevaluar la medición del progreso, y se reconoce hay consenso en que esto es importante debido a la estrecha relación entre la construcción y disponibilidad de indicadores estadísticos, el diseño de políticas públicas, y la evaluación democrática del desempeño de un país (región, ciudad, etc.)

El proyecto global *Midiendo el Progreso de las Sociedades* ([www.oecd.org/progress](http://www.oecd.org/progress)) tiene su origen en el consenso de que hay una oportunidad significativa para conjuntar los esfuerzos de muchas iniciativas locales e internacionales que abordan el tema de la concepción y medición del progreso de las sociedades. Se parte de la premisa de que la conformación de una red de trabajo más coherente y estructurada que aglutine las iniciativas y esfuerzos regionales permitirá proveer una respuesta más sólida a la pregunta que más y más sociedades (y personas) se están preguntando: ¿hacia dónde queremos ir? Cubas (39)

Una sociedad que progresa es capaz de distribuir mejor toda la energía de la vida: la comida, el agua, la habitación, el deseo, los bienes de la cultura y, en nuestro caso, el saber y las herramientas para pensar con otros y para generar información. Es una sociedad capaz de mejorar e intervenir sus formas de relacionarse en un proceso de comunicación para mejorarse mutuamente la vida; para estar mejor, para solucionar problemas hay que entender los problemas.

En este escenario, es que debe destacarse la importancia que juega en el presente, pero sobre todo en el futuro, el desarrollo de fuentes de energía renovables. Tanto para aspirar con realismo al desarrollo sustentable, como para que el progreso de la humanidad en general y de los países en particular, se construya sobre bases sólidas.

### **Economía del conocimiento.**

Una economía está compuesta por agentes económicos, como las familias, las empresas y el gobierno (que interactúan en los ámbitos nacional e internacional), por factores productivos y un nivel determinado de tecnología. Para producir lo que la gente necesita, las sociedades han utilizado, a lo largo de la historia, factores productivos, como la tierra, el trabajo y el capital.

La forma de producir ha cambiado de un momento histórico a otro, dependiendo del tipo de tecnología que se utilice y de la forma como las personas y las empresas se han organizado para producir.

En la actualidad, existen al menos tres características sobre la forma de producción que vinculan estrechamente el conocimiento con el desempeño económico y el desarrollo: la globalización (el flujo de bienes, servicios, información y personas entre países y regiones), el mayor peso de las industrias y exportaciones de alta tecnología, y el uso y aplicación de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) en la producción y organización de las empresas.

En todas las épocas de la historia las personas han hecho uso de su conocimiento para satisfacer sus necesidades y el conocimiento ha sido un factor clave para hacer más eficiente la producción de los bienes y servicios que las sociedades requieren. Sin embargo, en la actualidad, el conocimiento se produce, transmite y utiliza de forma más intensiva que en cualquier otra época previa.

En una economía basada en el conocimiento, las fuentes de innovación se encuentran en mayor medida en las actividades de investigación y desarrollo. Como factor productivo, el conocimiento es un bien “intangible” que a diferencia de otros factores productivos (como la tierra o el capital) no se agota al ser consumido. Por el contrario, generar y compartir información y conocimiento puede ayudar a crear nueva información y nuevo conocimiento.

Esto hace que, a diferencia de los factores productivos tradicionales, la información y el conocimiento no estén sujetos a la condición de escasez que

encarece al capital, la tierra y la mano de obra, e influye en su producción e intercambio.

Para ejemplificar algunos impactos del conocimiento en la producción, imaginemos una empresa de la industria automotriz. Derivado del desarrollo de una idea, por ejemplo, una innovación en ingeniería, la empresa logra reducir costos en alguna de las etapas del proceso de producción y comprueba que es viable introducirla en todo el proceso productivo.

La empresa puede tramitar una patente para proteger su invención y obtener ganancias derivadas de su uso por parte de otras empresas. Sin embargo, después de cierto tiempo, dependiendo de la legislación local donde se ubique esta empresa hipotética, la innovación se libera para su uso y explotación en toda la industria automotriz.

Gracias a la inserción de conocimiento nuevo al proceso productivo, se generan beneficios para toda la industria de automóviles. Pero este beneficio no termina ahí.

Esta innovación puede ser estudiada, analizada y mejorada por otras empresas automotrices o centros de investigación y desarrollo. Así, el nuevo conocimiento se convierte en catalizador para la generación de conocimientos adicionales que pueden beneficiar a empresas individuales o a una rama industrial completa, pero también a otros sectores en donde las innovaciones se pueden utilizar. También se beneficia a los consumidores, si se mejora la calidad o se reduce el costo de los bienes y servicios. Fundación este país (40)

La generación, uso y difusión del conocimiento tiene el potencial de crear un círculo virtuoso en el sector productivo y en la sociedad en su conjunto.

## **REFERENCIAS.**

1. Martínez González-Tablas, Ángel. (2007). Economía Política Mundial - I Las Fuerzas Estructurantes. Editorial Ariel; Barcelona, 367 Págs.
2. Calva, José Luis (2008). Globalización y bloques económicos: mitos y realidades, agenda para el desarrollo, Vol.1, Porrúa UNAM, México. V. 1
3. Ibidem.
4. Ibidem
5. Ibidem.
6. Ibidem
7. Ibidem
8. Bartlet, Ans C. (2002), Managing Across Borders, Harvard Business School Press, and 203 pp.
9. López, S.F. (2004), Globalización-Mundialización: entre el Imperio y la Democracia, En: Escenarios Futuros sobre la Globalización y el Poder Mundial, FCPS-UNAM.
10. Hill, Charles, (2007), Negocios internacionales competencia en un mercado global, Mcgraw-Hill / Interamericana de México, México, 2007, 6ª Ed.
11. Martínez González-Tablas (2007), Ob. Cit. Ref. 1
12. Calva, José Luis (2008), Ob. Cit. Ref. 2.
13. Calva, José Luis (2008), Ob. Cit. Ref. 2.
14. López, S.F. (2004), Ob. Cit. Ref. 12
15. López, S.F. (2004), Ob. Cit. Ref. 12
16. Calva, José Luis (2008). Ob. Cit. Ref. 2
17. Lopez, S.F.(2004), Ob. Cit. Ref. 12
18. Lopez, S.F.(2004), Ob. Cit. Ref. 12
19. Lopez, S.F.(2004), Ob. Cit. Ref. 12
20. Santiso, Javier (2008), La emergencia de las multilatinas, Revista de la CEPAL 95.
21. UNCTAD (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo) (2006): *World Investment Report 2006. fdi from Developing and Transition Economies: Implications for Development*, uctad/wir/2006, Ginebra, Naciones Unidas. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E.06.II.D.11.
22. Santiso, Javier (2008) Ob. Cit. Ref. 20
23. UNCTAD (2006) Ob. Cit. Ref. 21
24. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2008), *Inversión extranjera en América Latina y el Caribe anota récord en 2007*, Santiago de Chile.
25. Santiso, Javier (2008) Ob. Cit. Ref. 20
26. Santiso, Javier (2008) Ob. Cit. Ref. 20
27. Santiso, Javier (2008) Ob. Cit. Ref. 20
28. Santiso, Javier (2008) Ob. Cit. Ref. 20
29. Santiso, Javier (2008) Ob. Cit. Ref. 20
30. Nivón, E. (2003), Cultura e integración económica. México a siete años del Tratado de Libre Comercio, disponible en <http://www.oei.es/pensariberoamerica/ric02a02.htm>, consultado el 10 dic. 09.



31. Ibídem
32. Ibídem
33. Ibídem
34. Krugman, P et al (2009). *La crisis económica mundial*. Random House Mondadori, México.
35. Global Renewable Energy Forum (2009), Promoviendo las Energías Renovables, disponible en “<http://www.grefmexico2009.org/index.php?id=20&L=1>”, consultado el 10 dic. 09.
36. Ibídem
37. PNUD, disponible en <http://www.undp.org.mx/>.
38. Fundación para el Desarrollo Sustentable (2010), “¿Qué es el Desarrollo Sustentable?” disponible en <http://www.fundacionsustentable.org/contentid-70.html>, consultado el 15/01/2010.
39. Cubas, Paola, “Midiendo el progreso de las sociedades”, *Midiendo el Progreso de las Sociedades*, Foro Consultivo Científico y Tecnológico 2008
40. Fundación este País (2007), México ante el reto de la Economía del Conocimiento, disponible en “[http://www.foromexicanodelacultura.org/files/IEC%202007\\_Principales%20resultados.pdf](http://www.foromexicanodelacultura.org/files/IEC%202007_Principales%20resultados.pdf)”, consultado el 01/02/2010.

## **CAPÍTULO 2. LA SITUACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO EN MÉXICO Y A NIVEL GLOBAL**

### **2.1 Producción y consumo energético en el mundo.**

Históricamente, el consumo de energía eléctrica ha estado ligado directamente al desempeño de la economía. Durante la primera década del siglo XXI, la economía global expresada en términos del Producto Interno Bruto (PIB) mundial, ha fluctuado de 2 a 5% en promedio anual. En la reciente crisis económica internacional, desde el tercer trimestre de 2008 se agudizó la desaceleración económica en países industrializados y en China, conduciendo a las economías desarrolladas hacia una franca recesión hacia finales de ese año y a un menor crecimiento económico al observado recientemente en el gigante asiático.

Durante 2009 la crisis mundial tocó fondo y, si bien, los indicadores macroeconómicos hacia finales del año indican una lenta recuperación, aún se ubican en niveles previos a la crisis, por lo que se estima que el proceso de expansión de la economía global será lento y en mayor medida dependerá del desempeño económico de las economías asiáticas.

Durante el periodo 1997-2007, el consumo mundial de energía eléctrica tuvo un crecimiento promedio anual de 3.6%, ubicándose al final de ese periodo en 17,056 TWh.

Este ritmo de crecimiento ha sido impulsado por los países en transición, especialmente los de Asia en donde el crecimiento económico de los últimos años ha propiciado un efecto de urbanización y un cambio estructural en el consumo. En el caso de China, los patrones de consumo en el sector residencial continuarán reflejando la migración de la población del medio rural al urbano y con ello, la demanda de energía eléctrica y combustibles para transporte y uso residencial continuará aumentando; mientras que en el sector industrial, la dinámica del consumo de electricidad seguirá respondiendo a la singular expansión económica de ese país.

Desde el punto de vista energético, el consumo en estos países continuará creciendo a tasas altas, como resultado del proceso de maduración de los mercados, pero también se ha registrado la transición hacia patrones de consumo más eficientes.

Las regiones que han alcanzado los mayores niveles de estabilidad y madurez en sus mercados, se han caracterizado por registrar incrementos en el consumo de energía eléctrica moderados y bajos durante los años recientes. Es el caso de los países miembros de la OCDE de Norteamérica, Europa Occidental, Asia y Oceanía, que durante los últimos 10 años registraron tasas de 1.8%, 2.0% y 2.6%, respectivamente. SENER (1)

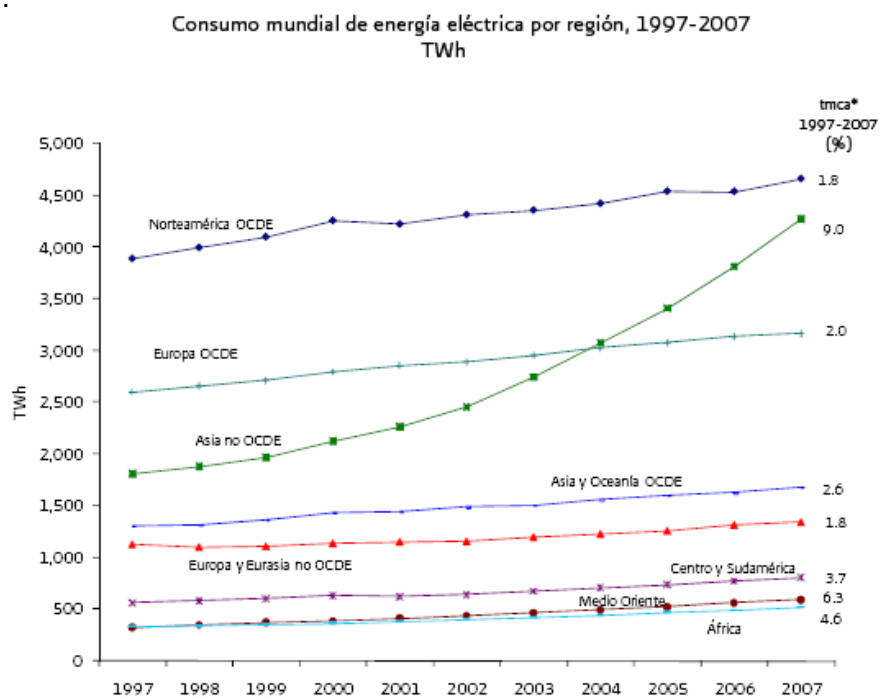
En el caso de los Estados Unidos de América (EUA), el crecimiento se ubicó en 1.8%. Como resultado de las mejoras en eficiencia energética así como en nuevos estándares de eficiencia en el sector residencial como iluminación,

calefacción, aire acondicionado, entre otras aplicaciones, se estima que este comportamiento se mantendrá durante el mediano y largo plazo.

En Canadá el crecimiento promedio durante los últimos 10 años fue de 1.2%. A diferencia de estos países, en México el consumo de energía eléctrica (ventas internas del sector público y consumo autoabastecido) ha crecido en 3.6% promedio anual.

Durante los últimos 10 años, el mayor crecimiento en el consumo de energía eléctrica se ha presentado en países no miembros de la OCDE de Asia y Medio Oriente, con tasas de 9.0% y 6.3%, respectivamente (véase figura 1).

Figura 1.



\* tmca: Tasa media de crecimiento anual  
Fuente: *Electricity Information 2009, Energy Balances of OECD Countries 2009, Energy Balances of Non-OECD Countries 2009*; International Energy Agency.

Fuente: Secretaría de Energía (2009).

El fuerte impulso en el consumo de la primera de estas regiones proviene de China e India, países que durante el periodo aumentaron su consumo en 11.2% y 5.4% en promedio anual. Esto, como resultado de la fuerte y sostenida expansión económica observada durante los últimos años en ambos países, principalmente en China con un crecimiento de alrededor de 10% en el PIB. En ese país, el crecimiento en el consumo de energía eléctrica ha sido impulsado por el importante desarrollo de las industrias intensivas en el consumo de energía e industria pesada, las cuales en 2006 participaron con 49% del PIB. De esta participación en la economía china, la industria pesada aportó 70% del valor total de la producción industrial.

Esta configuración de la economía del país asiático, refleja que a pesar de la importante dinámica en los niveles de ingreso y urbanización de la población,

en el sector residencial el crecimiento en el consumo de electricidad aún permanece rezagado con respecto al notable crecimiento en el sector industrial, particularmente en la industria pesada. Sin embargo, el proceso de urbanización en China continuará significando durante los próximos años, mayores demandas de energía eléctrica y combustibles.

Congruentemente con su reciente desempeño económico, es notorio el mayor crecimiento anual de países emergentes como China, India y Brasil; mientras que por el contrario, en economías avanzadas como Japón, Alemania, EUA y Canadá, el incremento en el consumo de electricidad es sensiblemente menor.

Medio Oriente, Arabia Saudita e Irán representan las principales economías de la región que en 2007 concentraron 55.1% del consumo de energía eléctrica y por otro lado fueron los mayores petróleo, gas, productos químicos y petroquímicos.

En términos de desarrollo económico, es indudable que los países que cuentan con una mayor cobertura y calidad en el suministro de energía eléctrica tienen mayores estándares de vida. Sin embargo, también existen concentraciones urbanas densamente pobladas en las que el suministro eléctrico tiene una alta penetración pero que no necesariamente con ello se garantiza la calidad en frecuencia y voltaje así como la estabilidad del fluido eléctrico. Tal es el caso de la zona metropolitana de la ciudad de México. SENER (2)

### **Capacidad instalada en países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).**

La capacidad instalada para la generación de energía eléctrica en países miembros de la OCDE creció 2.8% en promedio anual durante 1997-2007, ubicándose en 2,582 GW hacia el final del periodo. En el último año, Estados Unidos concentró 42.2% de dicha capacidad con 1,090 GW, lo que representa 85.6% del total en Norteamérica; por su parte Canadá y México participan con 9.8% y 4.6%, respectivamente. Norteamérica tiene instalado el 49.3% de la capacidad total de la OCDE.

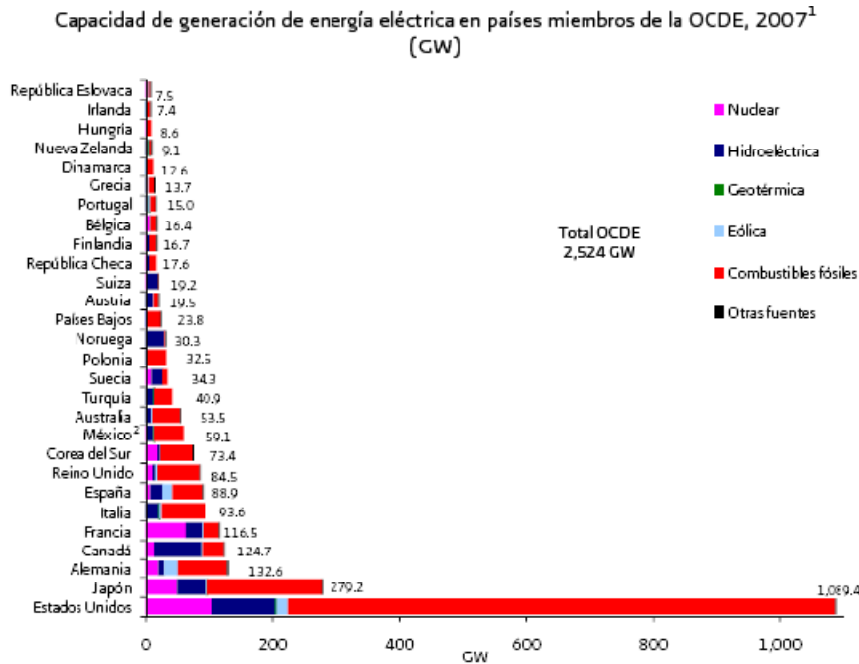
Los países europeos miembros de la OCDE destacan: Alemania, Francia, Italia y el Reino Unido, que en conjunto aportan 16.5% de la capacidad instalada. Asimismo, la capacidad total de la región representa 32.4% de la OCDE. El resto se conforma por los países miembros asiáticos y de Oceanía, con 13.7% y 4.7% respectivamente.

Respecto a México, 76.6% de la capacidad instalada en el sector eléctrico corresponde a tecnologías que utilizan combustibles fósiles como gas natural, combustóleo, carbón y diesel. Mientras que 23.4% restante corresponde a fuentes alternas, de las cuales las hidroeléctricas aportan 19.4% del total instalado.

Al interior de la OCDE las mayores capacidades para generación de electricidad se encuentran instaladas en EUA, Japón, Alemania, Canadá y Francia (véase figura 2). En este último país, la alta participación de la energía

nuclear (54.3%), constituye un caso singular no sólo entre países miembros de la OCDE, sino en el mundo entero. Noruega y Canadá se caracterizan por contar con una alta proporción de capacidad instalada con base en una sola fuente, la energía hidráulica. En 2007, la capacidad hidroeléctrica instalada en dichos países representó 96.6% y 59.0% del total respectivamente. SENER (3)

Figura 2.



<sup>1</sup> Incluye generación centralizada y autogeneración de energía eléctrica. Por simplicidad y cifras no significativas, se omiten Luxemburgo e Islandia.

<sup>2</sup> Fuente: Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Comisión Reguladora de Energía (CRE).

Fuente: Electricity Information 2009, International Energy Agency (IEA).

Fuente: Secretaría de Energía (2009).

## Consumo de combustibles y fuentes primarias para la generación mundial de energía eléctrica

El carbón es el combustible de mayor utilización para la generación de electricidad en el mundo. Durante décadas su amplia disponibilidad, la estabilidad en sus precios, así como su alto poder calorífico, entre otros factores, lo hicieron particularmente atractivo para generar energía eléctrica. No obstante, en 2008 se registraron precios sensiblemente superiores respecto a otros años, con incrementos de 70 a 130% respecto a las cotizaciones de 2007 en mercados europeos y asiáticos, lo cual aunado a las políticas de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en muchos países, ha reducido su competitividad.

Países como China, EUA, India, Sudáfrica y Australia, utilizan el carbón, 50% más que otros combustibles, para generar electricidad mediante energía térmica. Después del carbón, el gas natural es el combustible más utilizado en el mundo. En Japón, Reino Unido y México, dicho combustible tiene una alta participación en el portafolio de generación. Otros recursos, como la energía

hidráulica, representan la principal fuente primaria en países como Canadá, Brasil y Noruega.

Bajo el reciente entorno de incertidumbre y la crisis financiera internacional, los precios internacionales del petróleo han registrado sensibles variaciones a la baja a partir de finales del tercer trimestre de 2008, con una recuperación desde el segundo trimestre de 2009. Esto ha tenido como efecto que en muchos países dependientes de los petrolíferos para la generación de electricidad, se difiera, en el corto plazo, la salida de generación termoeléctrica basada en dichos combustibles, al menos hasta que los precios de los hidrocarburos líquidos como el combustóleo y el diesel repunten.

Generalmente, el patrón de utilización de fuentes primarias para generar electricidad depende de la disponibilidad y riesgo de suministro asociado, así como del perfil tecnológico y del portafolio de generación existente en cada región y país.

En términos de seguridad energética, existen países o regiones en donde el parque de generación llega a estar concentrado en una sola fuente de energía o combustible, lo cual, ante interrupciones en el suministro o de alta volatilidad en los precios, puede implicar riesgos en la operación de los sistemas eléctricos.

Brasil ilustra este hecho. Si bien dicho país posee una de las matrices energéticas más limpias del mundo, ante una menor disponibilidad de sus recursos hídricos y debido a su alta dependencia respecto a dicha fuente de energía, el sistema de generación brasileño puede enfrentar condiciones operativas menos flexibles. De acuerdo con información del Ministerio de Minas y Energía de Brasil, la operación del sistema de centrales de generación consiste en aprovechar la diversidad hidrológica exportando energía desde las cuencas húmedas hacia las cuencas secas.

En periodos de estiaje y con la finalidad de no comprometer la seguridad energética del país, el gobierno brasileño puede restringir las exportaciones de electricidad hacia Uruguay y Argentina.

Estos eventos pueden significar riesgos para la estabilidad y seguridad en el servicio eléctrico, debido a la concentración de la infraestructura de generación basada en una sola fuente primaria. Otro caso en el que la alta dependencia respecto a una fuente o combustible puede implicar riesgos en la operación, es el de varios países de Europa Occidental respecto al gas natural importado de Rusia y Argelia.

El gas proveniente de ambos representa más de 30% del consumo en dicha región, lo cual implica un asunto de especial interés que se ha plasmado en la firma de acuerdos de cooperación debido a las interrupciones del suministro en los últimos años de Rusia a Ucrania, entre otros casos.

Por ello para muchos países, incluyendo a México, es de importancia estratégica establecer políticas de diversificación de tecnologías de generación

que fortalezcan a sus sistemas eléctricos, para responder a los cambios económicos, políticos, a las restricciones ambientales, a la volatilidad en los precios de los combustibles, al riesgo en el suministro de los mismos y a los impactos derivados del entorno económico que pudieran incidir sobre la estabilidad y confiabilidad del suministro. SENER (4)

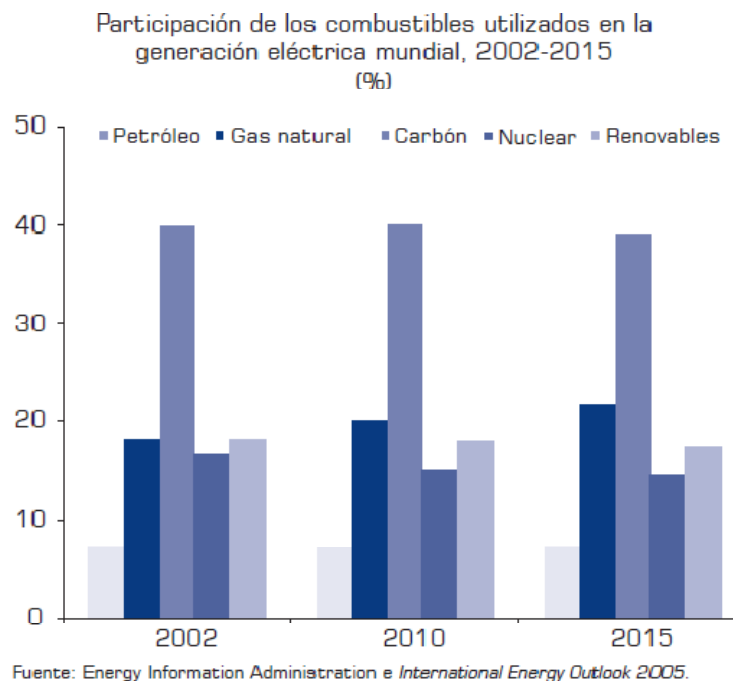
## 2.2. Consumo de electricidad en México

El consumo nacional de electricidad está compuesto por dos categorías:

- i) Las ventas internas de energía eléctrica, las cuales consideran la energía entregada a los usuarios con recursos de generación del sector público, incluyendo a los productores independientes de energía,
- ii) El autoabastecimiento, que incluye los proyectos de autoabastecimiento, cogeneración e importación de electricidad.

El consumo nacional de electricidad en 2004 ascendió a 183,972 GWh, de tal manera que durante el periodo 1994-2004 registró una tasa de crecimiento anual de 4.5%, tasa menor a la observada para el periodo 1993-2003 (5.7%).

Figura 3.



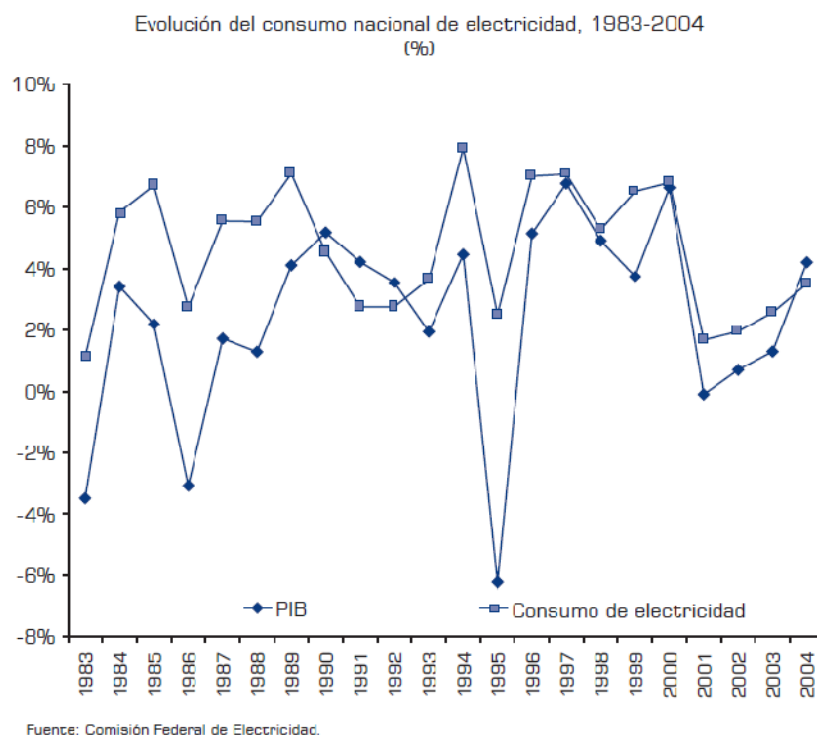
Fuente: Secretaría de Energía (2006).

En 2004 las ventas internas sin exportaciones registraron un crecimiento de 1.9%, ubicándose en 163,509 GWh y mostrando una mejora respecto a 2003, en donde el crecimiento fue cercano al cero por ciento. Asimismo, en 2004, el autoabastecimiento alcanzó una tasa de crecimiento del orden del 23.2%. En suma, el consumo nacional de energía en 2004 creció 3.9% respecto a 2003, debido principalmente a la modalidad de autoabastecimiento.

En términos generales, el crecimiento de las ventas más el autoabastecimiento de energía eléctrica se correlaciona con la actividad económica del PIB de manera positiva, es decir, que ante un incremento en el PIB, el consumo de energía eléctrica aumenta (Figura 4). Sin embargo, en 2004, la tasa de crecimiento del PIB aumentó en 4.2%, ubicándose por encima del consumo nacional de energía eléctrica que creció 3.9%.

Lo anterior fue debido a que el crecimiento del PIB se basó en actividades económicas que no son intensivas en el consumo de energía eléctrica, como las actividades de comercio y servicios, transporte, almacenaje, comunicaciones y servicios financieros, las cuales en conjunto constituyen cerca del 67% de la estructura del PIB. SENER (5)

Figura 4.



Fuente: Secretaría de Energía (2006).

En 2004, el número de usuarios de energía eléctrica atendidos por CFE y LFC aumentó en 3.9%, proporcionando el servicio a poco más de 28 millones de usuarios. Con este incremento, la cobertura del servicio eléctrico benefició al 95.7% de la población; en zonas urbanas la cobertura fue de 98.6% y en la rural de 87.2%. SENER (6).

Las ventas internas del sector eléctrico se clasifican en cinco sectores de acuerdo al consumo final: el sector agrícola, industrial, residencial, comercial y servicios.

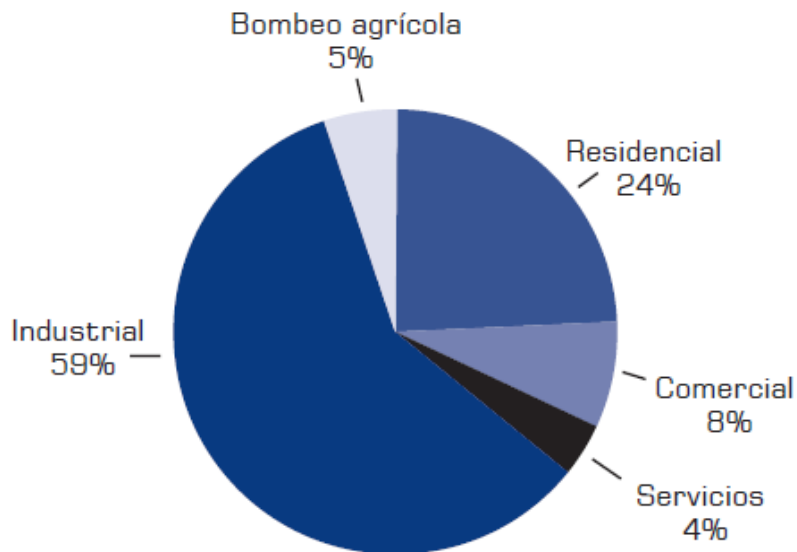
Durante el periodo 1994-2004, el sector industrial fue el mayor consumidor de energía eléctrica. En 2004, participó con 59.1% del consumo total, el cual a su



vez está dividido por nivel de tensión en gran industria y empresa mediana, representando en promedio el 38.8% y 61.2%, respectivamente, con respecto al sector industrial. El sector residencial es el segundo gran consumidor de energía eléctrica y representa el 24.9% del consumo total (figura 5).

Figura 5.

Estructura de las ventas internas por sector, 1994-2004 (%)



Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

Fuente: Secretaría de Energía (2006).

En relación con el sector industrial, su crecimiento fue del 2.5%, el cual fue motor de crecimiento de las ventas internas de energía eléctrica en 2004. La dinámica de la actividad industrial se debió al crecimiento positivo del PIB manufacturero el cual había mostrado, durante tres años consecutivos, variaciones negativas.

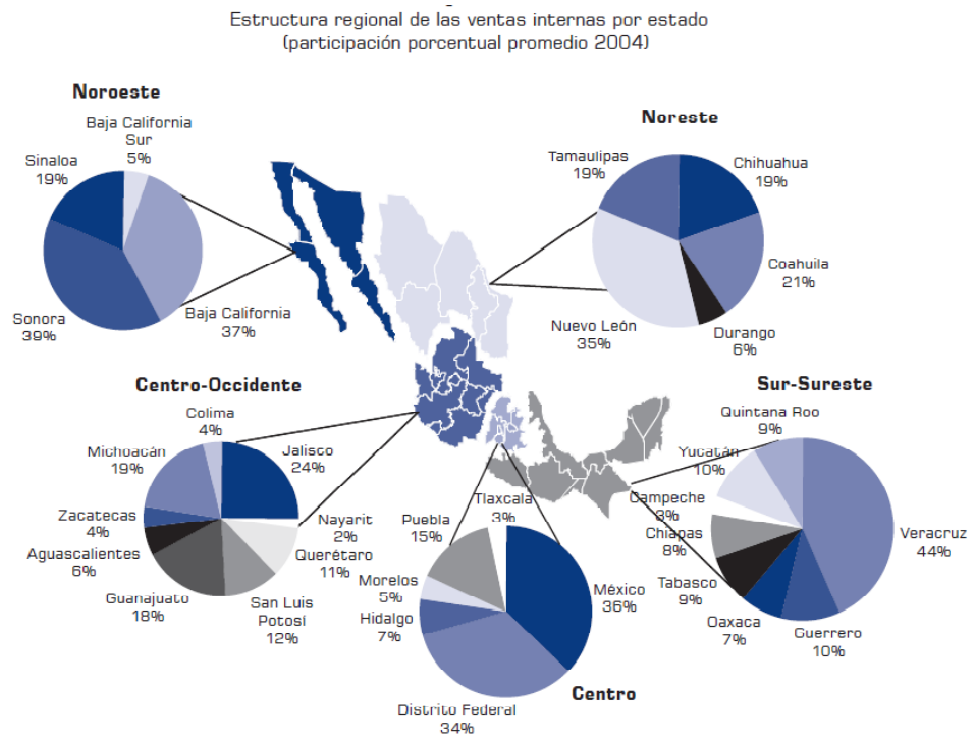
En el sector industrial, los subsectores gran industria y empresa mediana crecieron a tasas de 0.3% y 4.0% respectivamente. Por otro lado, el sector residencial registró un incremento de 2.2%, similar al observado en 2003. Ambos sectores, como se aprecia anteriormente, representan el 84% de las ventas internas de energía eléctrica totales. SENER (7)

En México se tienen identificadas cinco regiones, las cuales están en conformidad con la división geográfica y estadística propuesta por el Ejecutivo Federal. Cabe señalar que debido a la estructura del sistema eléctrico CFE divide al país en nueve regiones.

En la figura 6 se muestran las cinco regiones principales del país y para cada una, la participación porcentual promedio en ventas de energía que cada

estado tiene en la región. Los estados con mayores ventas internas de electricidad durante los últimos 10 años son Sonora, Nuevo León, Jalisco, Distrito Federal, México y Veracruz.

Figura 6.



Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

Fuente: Secretaría de Energía (2006).

A nivel nacional, el crecimiento de las ventas internas en 2004 fue de 1.9% respecto a 2003 debido a las regiones Noreste y Centro, mismas que registraron una tasa positiva, en contraste con la baja observada en 2003.

Por otro lado, la región Centro registró las mayores ventas internas de energía eléctrica en 2004 con 41,006 GWh. Cabe señalar que su tasa media de crecimiento anual fue de 2.7% para el periodo 1994-2004, tasa inferior a la observada en el periodo 1993-2003. Este mismo comportamiento se registró para todas las regiones, lo cual dio como resultado que la tasa de las ventas nacionales se ubicará en 4.1%. SENER (8)

### 2.3 Generación de energía eléctrica en México.

La generación de energía eléctrica nacional está integrada por dos categorías; la generación que es producida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y la generación eléctrica por parte de los permisionarios que considera las modalidades de autoabastecimiento, cogeneración, productores independientes, usos propios continuos y exportación.

En 2004, la generación de energía eléctrica ascendió a 235,600 GWh, de los cuales las empresas suministradoras CFE y Luz y Fuerza del Centro (LFC) aportaron el 68.4%, los productores independientes de energía el 20.1%, autoabastecimiento el 5.9%, cogeneración 3.0%, exportación el 1.9% y usos propios continuos el 0.6%.

La generación de energía eléctrica en 2004 ascendió a 208,634 GWh, es decir, registró un aumento de 2.5% respecto a 2003. El mayor crecimiento alcanzado en la generación de energía eléctrica fue por parte de las centrales de ciclo combinado, las cuales crecieron en 31.3%. De esta manera su participación en la generación eléctrica creció de 6.6% en 1994 a 34.6% en 2004. Por otro lado, la generación de las centrales de turbo-gas, disminuyó en un 60.0% respecto a 2003. SENER (9)

### **2.3.1 Fuentes no renovables.**

Para generar energía eléctrica se utilizan diferentes combustibles: las centrales de vapor consumen combustóleo y/o gas natural; las centrales de ciclo combinado consumen gas natural; las centrales de turbo-gas consumen gas natural o diesel, las duales consumen carbón y combustóleo y las centrales de combustión interna en su mayoría consumen diesel.

La generación eléctrica con base a hidrocarburos representa el 71.8% de la generación eléctrica total. En 2004, la generación de las centrales de ciclo combinado (72,267 GWh) superó ligeramente a la suma de la generación eléctrica de las centrales de combustóleo y/o gas (vapor), turbo-gas y combustión interna (69,715 GWh). Cabe señalar que la participación de las centrales de vapor, turbo-gas (resultado de las conversiones) y combustión interna disminuyó de 56.5% en 1994 a 33.4% en 2004.

Por otra parte, la tecnología de fuentes alternas en 2004 generó 58,737 GWh de energía eléctrica, dentro de las cuales, las centrales hidroeléctricas representan la mayor participación de generación con 42.7% respecto al total de fuentes alternas. Asimismo, este tipo de centrales mostraron un incremento de 26.9% respecto a 2004.

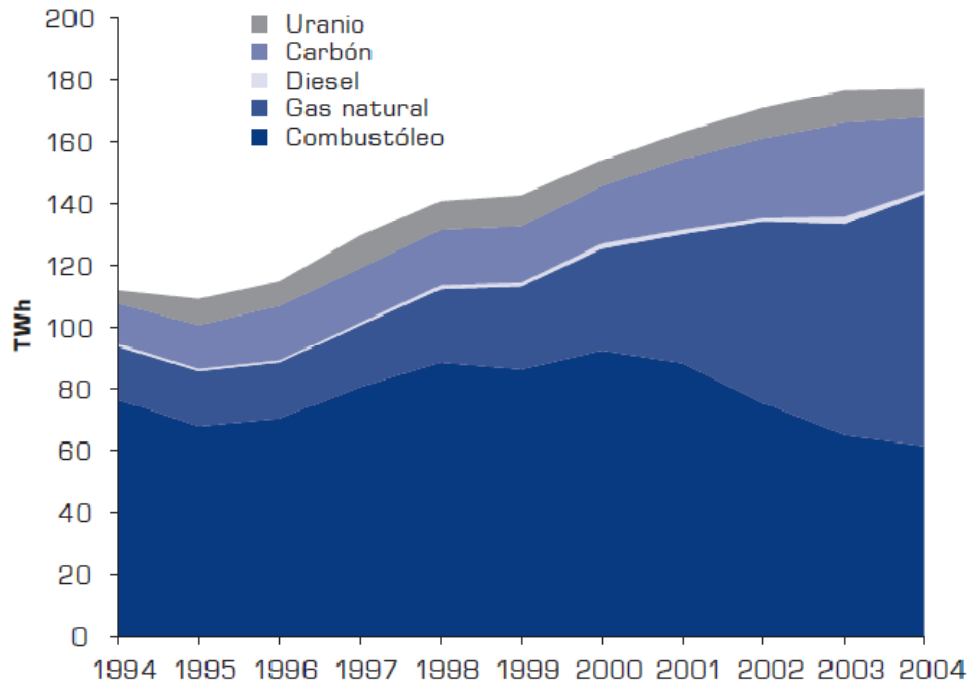
Desde el punto de vista del tipo de combustible utilizado para la generación eléctrica, el consumo del gas natural se ha incrementando considerablemente. En 1994 la generación con base a gas natural representaba el 15.5%, actualmente, en 2004 es el 46.3% de la generación total. Mientras que la generación con base en el combustóleo en 1994 era del 68.3%, y para 2004 pasó a ocupar el segundo lugar con una participación del 34.6%.

A partir de 2000, con la entrada en operación del primer productor independiente de energía, se marcó la tendencia al mayor consumo de gas natural por parte del sector eléctrico y al menor consumo de combustóleo para generar electricidad. Esto se debió a que el gas natural, respecto al resto de los combustibles utilizados para la generación de energía eléctrica, es el más limpio, presenta una eficiencia térmica elevada y es más atractivo por sus

costos de inversión y plazos de construcción cortos, los cuales dependerán de la existencia de equipos y de los precios del gas natural (figura 7).

Figura 7.

Generación bruta en el servicio público por tipo de combustible, 1994-2004 (TWh)



Nota: No incluye las fuentes renovables (viento, agua y vapor del subsuelo).  
Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

Fuente: Secretaría de Energía (2006)

La modalidad de autoabastecimiento reportó en 2004 el segundo mayor aumento en generación de energía eléctrica de 30.5%, ubicándose en 13,853 GWh, mientras que la modalidad de usos propios continuos disminuyó en 29 GWh. SENER (10)

### El carbón como combustible.

De acuerdo a la revista Teorema Ambiental (11), el carbón será la segunda tecnología para la generación de electricidad en la próxima década, con dos mil 78 megavatios de capacidad adicional, publicado en el Programa de Obras e Inversiones del Sector Eléctrico (POISE) 2009-2018.

Además, el programa considera otros dos mil 364 megavatios de tecnología libre que podrían desarrollarse a partir de carbón y plantas nucleares, detalla la proyección que sirve como base para el desarrollo futuro de la industria eléctrica nacional.

De incrementarse, el número de carboeléctricas en el país, aumentará a su vez el consumo del combustible, lo cual puede estar vinculado con que uno de los principales productores y usuarios de carbón, Estados Unidos, el cual está ya desmantelando su parque de generación por cuestiones ambientales, aseguró Rodolfo Lacy, director de Estudios del Centro Mario Molina.

El desmantelamiento de esta industria en Estados Unidos pondrá en el mercado internacional mucho carbón, con lo que el precio tenderá a bajar y podrá ser tomado por México para cumplir con su plan de expansión, según el experto.

De hecho, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) firmó en 2009 un contrato para el suministro de 11 millones 700 mil toneladas de carbón para los próximos cuatro años. Dicho carbón servirá para cubrir 50 por ciento de las necesidades de la carboeléctrica Petacalco, que se localiza en la costa de estado de Guerrero cerca de los límites con Michoacán.

Ante las proyecciones del Programa de Obras de la CFE, Lacy consideró que el mercado natural del carbón que deje de utilizarse en Estados Unidos y Canadá caerá en México, por la cercanía y las proyecciones futuras del desarrollo de carboeléctricas.

El POISE, publicado en 2009 por la CFE, establece la entrada en operación de carboeléctricas bajo la llamada tecnología libre, ya que la inversión inicial de una planta no es muy alta, según la prospectiva del sector eléctrico.

De hecho, se están programando algunas plantas en Coahuila para consumir el carbón nacional que se tiene disponible en la zona, ya que llevarlo hacia Petacalco, donde hay carboeléctricas, elevaría el costo de generación para la empresa.

Según la Prospectiva Eléctrica elaborada por la Secretaría de Energía (SENER), el carbón seguirá siendo uno de los principales insumos energéticos para la generación de electricidad, dada su mayor disponibilidad y porque presenta una menor volatilidad de precios.

### **Laguna Verde, La central nucleoelectrica del país.**

Dispone de reactores del tipo de agua hirviente y contenciones de ciclo directo. El sistema nuclear de 370 hectáreas localizadas sobre la costa del Golfo de México, a 70 km del puerto de Veracruz y a 290 km al noreste del Distrito Federal.

La central costa de dos unidades, cada una con capacidad de 682.44 megavatios, equipadas con suministro de vapor, fue adquirida a General Electric y el turbogenerador a Mitsubishi Heavy Industries.

Su reactor nuclear (que es un enorme recipiente dentro del cual se está efectuando una reacción de fisión en cadena de manera controlada), está colocado en el centro de un gran edificio de gruesas paredes de concreto, que

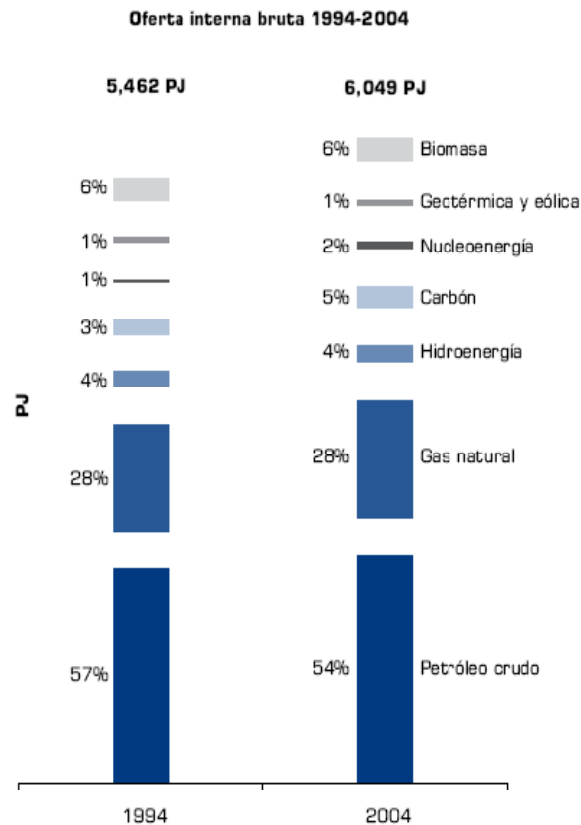
protegen al personal que lo opera y al público en general de la radioactividad que produce. Básicamente un reactor consta de tres elementos esenciales: combustible, moderador y refrigerante.

En la central nuclear, el calor se obtiene a partir de la fisión del uranio, no se genera combustión, por analogía con las centrales convencionales se le denomina combustible nuclear. Como combustible se utiliza Uranio, como moderador y refrigerante agua. CFE (12)

### 2.3.2 Fuentes Renovables, estado actual y potencial

En México, no obstante el gran potencial de Energías Renovables (ER) con que cuenta, de 1993 al 2003 los hidrocarburos mantuvieron la mayor participación en la oferta interna bruta de energía primaria, mientras que la contribución de las ER fue marginal (figura 8), empleándose principalmente para calefacción y para la generación de electricidad.

Figura 8.



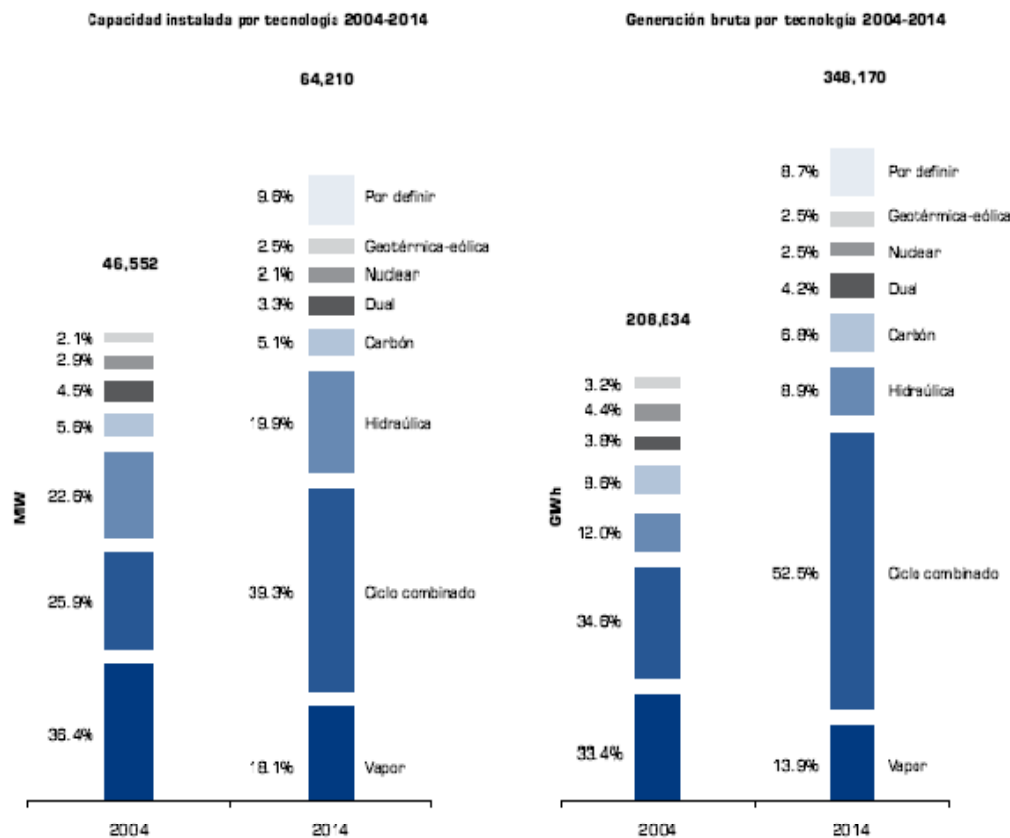
Biomasa: incluye leña y bagazo de caña.  
Fuente: CMM 2005, elaborado con datos de BNE 2004, SENER 2005.

Fuente: Secretaría de Energía (2006)

Sin embargo, para el periodo 2005-2014, se esperan incrementos importantes, impulsados por la SENER conjuntamente con CFE, en materia de hidroelectricidad (2,254 MW), Eolo-electricidad (592 MW) y geotermia (125

MW) (figura 9).

Figura 9. Capacidad instalada por tecnología 2004-2014.



Fuente: CMM 2005 Elaborado con datos de las Proyecciones del Sector Eléctrico 2005-2014. SENER 2005.

Fuente: Secretaría de Energía (2006).

A finales del 2005 la Comisión Reguladora de Energía, CRE había autorizado 54 permisos para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables (cuadro 3), bajo las modalidades de autoabastecimiento, cogeneración y exportación, de los cuales 37 ya están en operación. Se espera que en 2007 entren en operación los restantes, con lo que se incorporarán a la red más de 1,400 MW de capacidad en energías renovables, y una generación de más de 5,000 GWh/año. SENER (13).

### Energía Hidráulica.

Tecnología: Las centrales mini hidráulicas (<5 MW) se clasifican, según la caída de agua que aprovechan, en baja carga (caída de 5 a 20m), media carga (caída de 20 a 100m) y alta carga (caída mayor a 100m). Además de la carga, se clasifican en función del embalse y del tipo de turbina que utilizan.

Cuadro 3. Permisos de generación con ER otorgados a particulares.

Permisos de generación con ER otorgados a particulares

Energético	Permisos	Capacidad (MW)	Energía (GWh/a)
Viento	7	956.73	3,645.31
Agua <sup>1)</sup>	12	159.08	736.33
Bagazo de caña	4	70.85	205.30
Biogás	3	19.28	120.80
Híbridos <sup>2)</sup>	28	248.68	475.40
<b>Total</b>	<b>54</b>	<b>1,454.82</b>	<b>5,183.14</b>

<sup>1)</sup> Capacidad menor a 30 MW.

<sup>2)</sup> Fuentes renovables con fuentes fósiles.

Fuente: Elaborado con datos de la CRE. [www.cre.gob.mx](http://www.cre.gob.mx).

Fuente: Secretaría de Energía (2006).

De acuerdo con la información de la SENER (14) disponible en 2006, se reportaba lo siguiente:

Estado actual: Actualmente están operando en los estados de Veracruz y Jalisco tres centrales mini-hidráulicas con una capacidad instalada de 16 MW, que generan un total de 67 GWh/año. Adicionalmente están en operación tres centrales híbridas (mini-hidráulicas-gas natural) en los estados de Veracruz y Durango.

Potencial: La Comisión Nacional de Energía (CONAE) estimó en 2005 el potencial hidroeléctrico nacional en 53,000 MW, de los cuales, para centrales con capacidades menores a los 10 MW, el potencial es de 3,250 MW. Se prevé que para finales del 2006 se tendrían instalados 142 MW adicionales. La cartera del Sector Energía contempla la ampliación de seis grandes hidroeléctricas por una capacidad de 1,528 MW y una generación de 1,079 GWh/a.

Costos: En México los costos de instalación en el 2004 eran en promedio de 1,600 USD por kW instalado, con un costo de generación de 11.50 ¢ (Dólares Norteamericanos (USD)) por kWh generado.

### **Energía Eólica.**

Tecnología: En 1997 la turbina promedio era de 600 a 750 kW. Para el 2005 ya existían en el mercado a nivel comercial turbinas con capacidades entre 2 y 3 MW, así como prototipos de hasta 6 MW. El diámetro llegaba a 80 metros en 2000, en 2006 llegaba a los 120 metros.

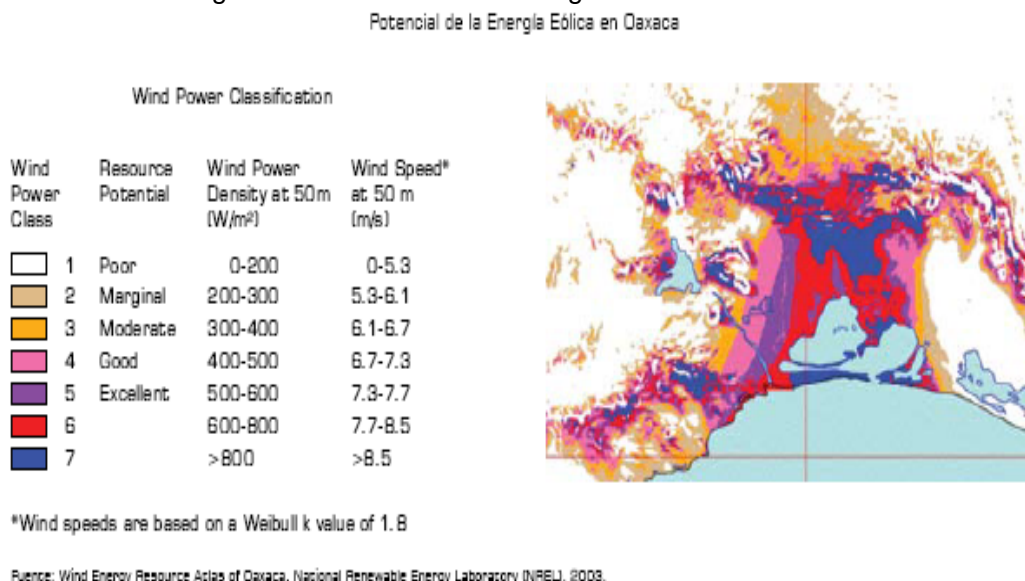
De acuerdo a los registros de la misma fuente antes referida, en aquél momento se reportaba lo siguiente:



Estado actual: En el 2004 se tenían instalados 3 MW; 2 MW en la zona sureste y 1 MW en la zona noreste, con los que se generaron 6 GWh de electricidad.

Potencial: Los estudios del National Renewable Energy Laboratory (NREL) y diversas instituciones mexicanas (Asociación Nacional de Energía Solar, Asociación Mexicana de Energía Eólica) han cuantificado un potencial superior a los 40,000 MW, siendo las regiones con mayor potencial, el Istmo de Tehuantepec y las penínsulas de Yucatán y Baja California. En la siguiente figura 10 se presenta las estimaciones realizadas en el caso de Oaxaca.

Figura 10. Potencial de la Energía Eólica en Oaxaca.



Fuente: Secretaría de Energía (2006).

Las condiciones eólicas en el Istmo de Tehuantepec son de las mejores a nivel mundial. En Oaxaca hay zonas con velocidades del viento medidas a 50m de altura superiores a 8.5 m/s, con un potencial de 6,250 MW, y otras con velocidades entre 7.7 y 8.5 m/s, con un potencial de 8,800 MW.

En Baja California, las mejores zonas están en las sierras de La Rumorosa y San Pedro Mártir (274 MW). Yucatán (352 MW) y la Riviera Maya (157 MW) tienen suficiente potencial para sustituir plantas que operan con combustóleo, diesel y generadoras de turbo-gas.

De acuerdo con CFE, los montos de la inversión para estos sistemas son de 1,400 USD/kW, con un costo de generación de 4.34 ¢ USD/ kWh y se estima que para el 2020 sean menores a los 3¢ de USD por kWh.

### Energía Geotérmica.

Tecnología: Los recursos de alta temperatura ( $T > 200^{\circ}\text{C}$ ) pueden utilizarse para generar energía eléctrica, los de temperatura baja ( $T < 200^{\circ}\text{C}$ ) para

aplicaciones térmicas. De acuerdo con información disponible en el año 2006, se reportaba la siguiente situación:

Estado actual: México ocupa el tercer lugar mundial en capacidad de generación de energía geotérmica, con 960 MW instalados, con los que se generan más de 6,500 GWh/ año.

Potencial: La CFE estima que el potencial geotérmico permitiría instalar otros 2,400 MW, si bien su viabilidad depende del desarrollo de tecnología para su aprovechamiento.

Los montos de inversión en centrales geotermoeléctricas en México son del orden de 1,400 USD/kW. Por su parte, el costo de generación promedio es de 3.986 ¢ USD/kWh.

### **Energía Solar.**

Tecnología: El aprovechamiento de la energía solar, se realiza principalmente mediante la utilización de dos tipos de tecnologías:

- *Fotovoltaicas*, que convierten la energía solar en energía eléctrica con celdas fotoeléctricas, hechas principalmente de silicio que reacciona con la luz.
- *Termosolares*, que usan la energía del sol para el calentamiento de fluidos, mediante colectores solares, que alcanzan temperaturas de 40 a 100 °C (planos), o “concentradores” con los que se obtienen temperaturas de hasta 500 °C.

A continuación se presenta la situación reportada por la SENER (15) en el año 2006 sobre esta fuente de energía renovable:

Estado actual: De 1993 a 2003, la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos se incrementó de 7 a 15 MW, generando más de 8,000 MWh/año para electrificación rural, bombeo de agua y refrigeración. Para sistemas termosolares, al 2003 se tenían instalados más de 570 mil metros cuadrados de calentadores solares planos, con una radiación promedio de 18,841 KJ/m<sup>2</sup>, generando más de 270 Gigajoules para calentar agua.

Potencial: Con una insolación media de 5 kWh/m<sup>2</sup>, el potencial en México es de los más altos del mundo. Se espera tener instalados 25 MW con tecnología fotovoltaica para 2013, y generar 14 GWh/año. Además se espera contar para 2009 con un sistema híbrido de ciclo combinado acoplado a un campo solar de 25 MW (Agua Prieta II, Sonora).

Costos: Los sistemas fotovoltaicos son actualmente viables para sitios alejados de la red eléctrica y aplicable en electrificación y telefonía rural, bombeo de agua y protección catódica, entre otros usos. Los costos de generación e inversión para sistemas fotovoltaicos se encuentran en el rango de 3,500 a 7,000 dólares por kW instalado y de 0.25 a 0.5 dólares por kWh generado.

Para los sistemas fototérmicos (“concentradores”) los costos se estiman en un rango de 2,000 a 4,000 dólares por kW y de 10 a 25 ¢ USD/kWh. El costo de inversión para los colectores solares planos es de 242 USD/m<sup>2</sup> instalado.

### **2.3.3 Biocombustibles.**

Tecnología: Utiliza materia orgánica como energético, por combustión directa o mediante su conversión en combustibles gaseosos como el biogás o líquidos como bioetanol o biodiesel.

De acuerdo con la información disponible en 2006, la SENER (16) reportaba lo siguiente respecto a la bioenergía:

Estado actual: Actualmente, la bioenergía representa el 8% del consumo de energía primaria en México. Los principales bioenergéticos empleados son el bagazo de caña (usado para la generación eléctrica y/o térmica en la industria azucarero) y la leña (fundamentalmente usada para calefacción y cocción de alimentos).

En 2004 se consumieron 92 Petajoules de bagazo de caña y 250 de leña. México produce al año en la industria cañera, 45 millones de litros de bioetanol que actualmente no se usan como combustible sino en la industria química.

Al 2005 la Comisión Reguladora de Energía autorizó 19 MW para generar 120 GWh/año con biogás, 70 MW para generar 105 GWh/año con bagazo de caña y 224 MW para generar 391 GWh/año con sistemas híbridos (combustóleo-bagazo de caña).

Potencial: El potencial técnico de la bioenergía en México se estima entre 2,635 y 3,771 Petajoules al año, sin embargo, su uso actual es 10 veces menor.

Del potencial estimado, un 40% proviene de los combustibles de madera, 26% de los agro-combustibles y 0.6% de los subproductos de origen municipal. Se estiman además 73 millones de toneladas de residuos agrícolas y forestales con potencial energético, y aprovechando los residuos sólidos municipales de las 10 principales ciudades para la generación de electricidad a partir de su transformación térmica, se podría instalar una capacidad de 803 MW y generar 4,507 MWh/año. Además, se cuenta con un área agrícola significativa, potencialmente apta para la producción de bioetanol y biodiesel.

Costos: Para la obtención de etanol a partir de almidones se estima a nivel internacional un costo de inversión de 0.8 USD/l; a partir de recursos ricos en azúcares (melaza), el costo de inversión es de 0.40 USD/l. La elaboración de biodiesel a partir de aceite de soya tiene un costo de 0.57 USD/l, y a partir de aceite de girasol el costo es de 0.52 USD/l.

En la actualidad, México comienza a ser considerado uno de los países con mayor potencial en el mundo para la producción de biocombustibles de segunda generación. Sus características geográficas y climatológicas lo hace

un sitio adecuado para el cultivo de especies vegetales que sirven para generar estos carburantes.

Promotores de los biocombustibles coinciden en señalar que el país es un lugar ideal para el cultivo de dos de las especies vegetales más prometedoras en la generación a corto plazo de estos combustibles: las algas y la jatrofa. El cultivo de algas y jatrofa, este último un arbusto nativo de México y Centroamérica, no afecta a la industria de los alimentos y no causa deforestación ni otros efectos negativos.

Barry Cohen, director ejecutivo de la Asociación Nacional del Alga, que reúne en EE.UU. a productores y compañías dedicadas a la utilización de algas para la generación de biocombustibles, prevé que llegará a ser en la próxima década una industria de 16 mil millones de dólares anuales.

Al menos dos compañías, una mexicana y otra estadounidense, han comenzado a desarrollar en el país el cultivo de algas para la producción de biocombustibles.

BioFields, de origen nacional, planea invertir 850 millones de dólares para producir etanol con base en algas utilizando agua de mar en Puerto Libertad, Sonora. Estima que puede producir unos 100 millones de galones de etanol al año en su primera planta e incrementarla para 2012 a mil millones de galones. También prevé obtener seis mil galones de etanol por acre (0.4 hectáreas) de superficie de algas.

La firma estadounidense PetroSun constituyó PetroSun BioFuels México para establecer operaciones de biocombustible con base en algas, también en Sonora. Planea establecer unos mil "corrales" de producción de alga. Cada corral es un sistema cerrado que contendría hasta 250 hectáreas. La empresa proyecta producir unos dos mil 500 millones de galones de aceite de alga por año.

En Yucatán la compañía estadounidense Global Clean Energy Holdings (GCE) adquirió el año pasado dos mil hectáreas de terrenos vírgenes, nunca antes utilizados para la agricultura, para el cultivo de jatrofa, un arbusto que puede llegar a ser la mayor fuente de biodiesel. La firma informa que planea cultivar unas cuatro millones de plantas, cuyas semillas producirán aceite y biomasa por más de 30 años.

México "posee el clima ideal para cultivar jatrofa", asegura Richard Palmer, director ejecutivo de Global Clean Energy. En Enero del 2009, un Boeing 737 de Continental Airlines, utilizó en uno de sus motores una mezcla de biocombustibles generados en base a jatrofa y algas<sup>1</sup>.

(1) Excélsior (2009). México, ideal para combustibles, disponible en" [http://www.exonline.com.mx/diario/noticia/dinero/economia/mexico,\\_ideal\\_para\\_biocombustibles/470542](http://www.exonline.com.mx/diario/noticia/dinero/economia/mexico,_ideal_para_biocombustibles/470542), consultado el 26/01/2010.

## **Los biocombustibles y su sustentabilidad.**

Los biocombustibles pueden jugar un papel destacado en diversificar la oferta energética e incrementar el uso de energías renovables en México por razones estratégicas, económicas y ambientales. Pero es importante que su producción y su uso se apeguen a estrictos criterios de sustentabilidad.

Usando bien los biocombustibles, México puede contribuir a resolver los problemas globales y jugar un papel de liderazgo demostrando el uso responsable de sus recursos.

En México, para que efectivamente el uso de biocombustibles sea benéfico para la sociedad y para el medio ambiente, es necesario garantizar que:

- Reduzca realmente la emisión neta de gases de efecto invernadero
- Contribuya al bienestar económico regional y nacional
- No requiera de cuantiosos subsidios
- No compita con la producción de alimentos o afecte negativamente a sus mercados
- No impacte indebidamente a la calidad del aire, el agua y el suelo
- No afecte a la biodiversidad ni contribuya a la deforestación
- No conlleve el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas que dañen a los ecosistemas
- No degrade o agote recursos naturales esenciales como el agua y los suelos fértiles

Una política inteligente y responsable para promover los biocombustibles en México debe tomar en cuenta todos estos factores, así como aprovechar las experiencias y el conocimiento internacionales, muy abundantes ahora, para encontrar el camino hacia el desarrollo energético sustentable.

Algunos de los sistemas de producción de biocombustibles que se han propuesto y adoptado en otros países, no cumplen con los criterios de sustentabilidad antes mencionados; y se han justificado en circunstancias económicas y energéticas muy diferentes a las que prevalecen en México. Por lo tanto, hay que ser cuidadosos y no adoptar sin más estrategias desarrolladas en contextos muy diferentes al nuestro, (desde la perspectiva de los biocombustibles, Brasil y Estados Unidos son muy diferentes a México).

Uno de los argumentos que más se usan para impulsar el uso de biocombustibles es su contribución a resolver el problema del calentamiento global resultante de la emisión de gases de efecto invernadero.

Este aspecto ha sido motivo de muchos análisis y gran controversia, pero lo que está claro hoy en día, es que no cualquier biocombustible contribuye realmente a disminuir la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Por ejemplo, los estudios integrales de Ciclo de Vida de los biocombustibles indican que el etanol producido a partir de maíz no contribuye a resolver el problema, y el obtenido a partir de la caña de azúcar sólo tiene un

efecto positivo si se obtiene en forma muy eficiente y se aprovechan íntegramente los subproductos.

En general, si se utilizan fertilizantes y combustibles fósiles para la producción y transporte de los biocombustibles, las emisiones asociadas de bióxido de carbono y óxido nitroso (un gas de efecto invernadero muy potente) compensan en gran medida los beneficios de usar combustibles renovables.

De hecho, está claro que en muchos casos el efecto neto es negativo, ya que en lugar de combatir el cambio climático se lo promueve.

Para asegurarse que los biocombustibles realmente contribuyan a resolver el calentamiento global, es necesario en cada caso hacer un análisis integral del Ciclo de Vida que cuantifique todas las emisiones asociadas al uso de estos productos. Por esta razón, la normatividad que está en desarrollo en California y en Europa contempla regular la forma en que se producen los biocombustibles, a fin de garantizar que su impacto climático sea positivo. Con el mismo propósito se está desarrollando un sistema internacional de certificación para la producción sustentable de biocombustibles.

Por estas razones, hacer obligatorio el uso de combustibles de origen renovable sin regular la forma en que se producen implicaría costos económicos y ambientales y puede, por lo tanto, resultar contraproducente.

En México, cualquier legislación que se establezca para promover el uso de estos productos debe incluir mecanismos de certificación y monitoreo que garanticen que realmente se alcancen los beneficios esperados. Centro Mario Molina (17)

## **2.4 Agotamiento de Reservas de Hidrocarburos.**

### **Demandas energéticas**

El esquema económico y social en el cual se está inmerso se une a consumos energéticos crecientes, basados en gran medida en los combustibles fósiles, que ya han alcanzado magnitudes preocupantes:

- Alta posibilidad de que la disponibilidad de hidrocarburos se reduzca en unas pocas décadas.
- La incidencia de los usos energéticos en el cambio climático es ya para muchos un hecho asumido.

Además, se unen a los problemas sociales y ambientales que afectan a una gran parte de la Humanidad: guerras, desastres naturales y migraciones entre otros, participando en ellos de manera significativa.

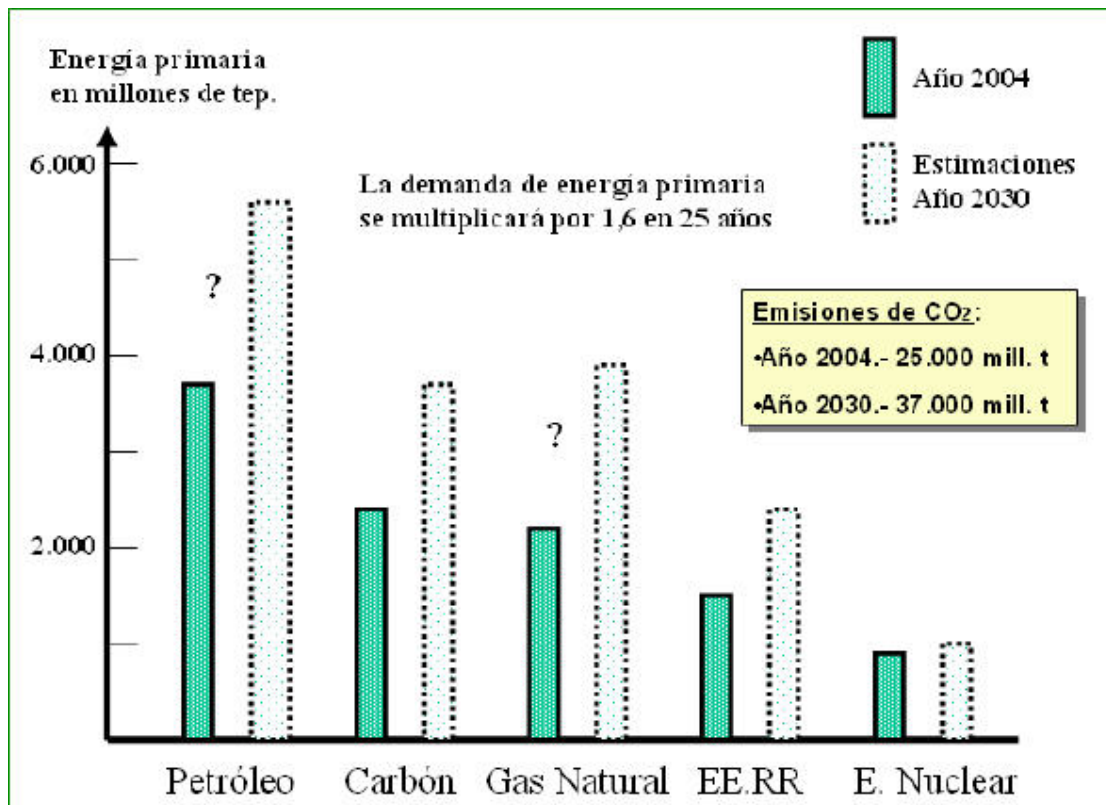
Al mirar hacia delante, analizando cómo evolucionarán las demandas de energía, como puede cambiar la tecnología y cuáles son las fuentes energéticas disponibles, aparecen escenarios como el que se recoge en la

figura 11, basado en las estimaciones de aquellos que forman parte desde hace años de las instituciones energéticas más significativas. Menéndez (18)

Viendo lo que ocurre en la actualidad en el entorno de los países y empresas que son la base del suministro energético, aparecen dudas en que ese crecimiento que se dibuja en la demanda y oferta de hidrocarburos pueda ser real:

- Guerra en Oriente Medio, en un contexto de confrontación más o menos explícito entre el mundo islámico y una parte de la sociedad occidental. Las dos terceras partes de las reservas mundiales de hidrocarburos se concentran en Asia Central, Oriente Medio y Norte de África.
- Los precios de los hidrocarburos han crecido sensiblemente a lo largo del año 2005, se mantienen en valores en torno a \$60 usd/bbl mientras los costes de extracción se encuentran entre \$5 y \$20 usd/bbl; señal de que hacen falta inversiones importantes para poner mayores cantidades en el mercado, pero que también las posibilidades reales de incrementar la oferta no están claras.

Figura 11. Estimación de evolución de la demanda de energía primaria.



Fuente: La crisis de hidrocarburos, Menéndez, E. (2005)

En paralelo desde diferentes instituciones y organismos se apunta a que la oferta de petróleo disminuirá a partir de una fecha entre los años 2030 y 2050,

incluso con las mejoras tecnológicas que se suponen de aplicación futura en la explotación de yacimientos de petróleo.

Pueden estar equivocados y esas fechas se desplacen a la segunda mitad del siglo XXI, pero una elemental prudencia nos debería hacer reflexionar, y trabajar en consecuencia, para dar soluciones a una crisis de disponibilidad de petróleo, más si somos conscientes de que el acceso al mismo ha sido el motor de diferentes guerras, y se apunta a que lo seguirá siendo. Menéndez (19)

### **Liberalización y capacidad de inversión.**

De acuerdo a Menéndez (20), en la última década del siglo XX se concretó un modelo económico en el cual los servicios se privatizan, los estados pierden en cierta medida su control, y las decisiones de inversión quedan en manos de las empresas. En el caso de la electricidad, quedan en las de algunas empresas multinacionales que se van consolidando como un poder difuso en cuyas decisiones no interviene la ciudadanía.

El sistema eléctrico mundial es intensivo en inversión, supone aproximadamente una dedicación de fondos equivalente al 2% del Producto Económico Global Bruto del mundo. Esta relación, al trasladarlo a los diferentes países, tiene valores muy distintos en relación a su Producto Interno Bruto (PIB), en función de su propia renta y del desarrollo del servicio eléctrico. Pero en cualquier caso es un valor elevado e implica una capacidad de inversión que no siempre está disponible.

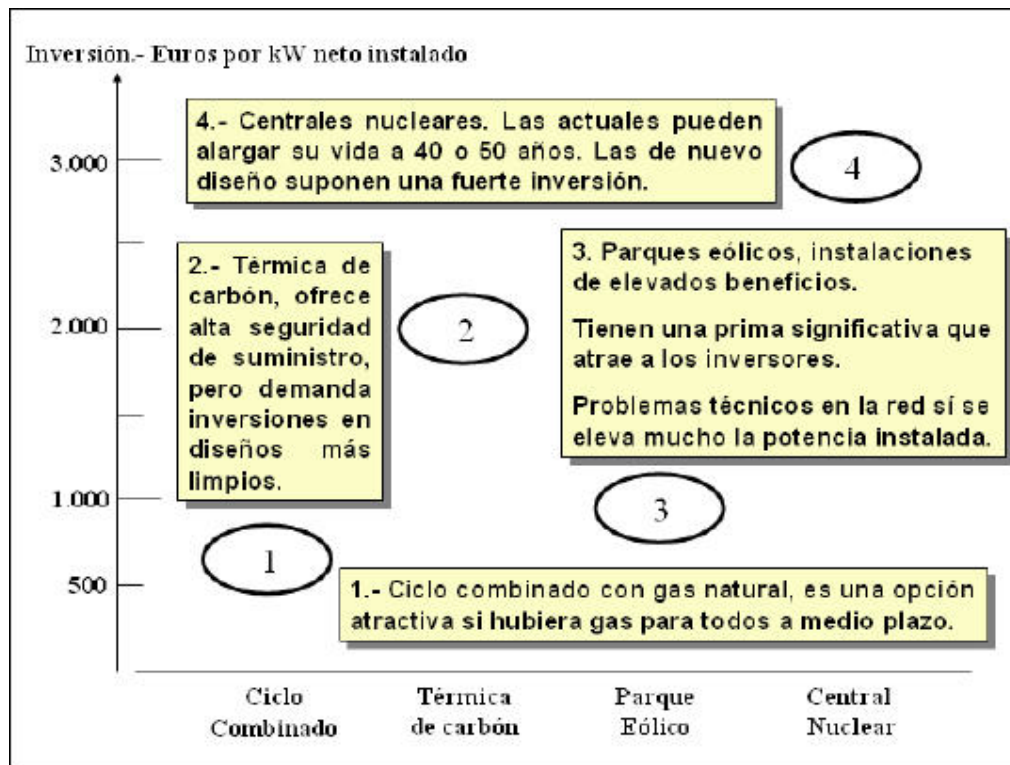
Esa liberalización del sistema eléctrico hace que las empresas busquen las opciones de generación de menor inversión específica, aunque ello incremente la dependencia de los hidrocarburos (figura 12).

Hay dos alternativas de generación de rápido crecimiento:

- Ciclos combinados, que utilizan gas natural, en países con acceso a este combustible y un cierto nivel de desarrollo industrial y tecnológico.
- Motores diesel, con derivados de petróleo, en países con redes eléctricas poco desarrolladas, en general pequeños y de bajo nivel económico.



Figura 12. Opciones de generación termoeléctrica. Inversiones específicas.



Fuente: La crisis de hidrocarburos, Menéndez, E. (2005)

El carbón es la principal fuente de generación de electricidad en muchos países, en la actualidad se cuestiona seguir apoyándose en él por las mayores emisiones de bióxido de carbono CO<sub>2</sub> en comparación con el uso del gas natural, unos 800 a 1.000 g/kWh frente a algo menos de 400 g/kWh en las centrales de ciclo combinado. Aunque en algunos entornos, por ejemplo los países de la costa del Pacífico en Asia, siguen construyendo centrales de carbón.

Pero las reservas de carbón son mayores que las del conjunto de petróleo más gas natural, y están muy distribuidas; su control no han dado lugar a guerras como los hidrocarburos. Algunos países abren las puertas al futuro del carbón, Alemania ha previsto derechos de emisión de 750 g de CO<sub>2</sub>/kWh, emisión que es factible de conseguir con las nuevas plantas de gasificación y ciclo combinado.

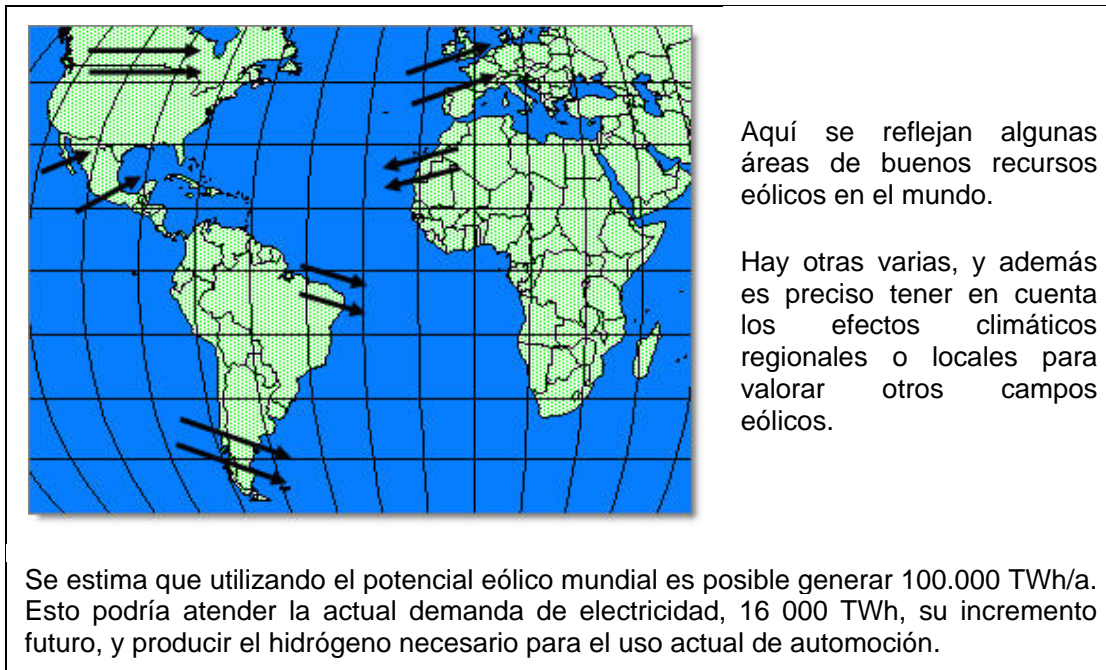
La energía nuclear representa una mínima parte del suministro de energía primaria en el mundo; aunque se hagan debates en torno a su futuro, e incluso se construyan nuevas plantas en los países que puedan hacerlo, no va a ser una parte importante del abastecimiento energético, por lo que su evolución incidirá poco en la previsible crisis de los hidrocarburos que aquí se plantea.

Referente a la energía hidráulica en determinados entornos tiene ya limitaciones de desarrollo. En Europa Occidental no se dispone de muchos cauces de ríos importantes sin instalaciones de generación.

En América Latina hay posibilidades de nuevas centrales, pero el fenómeno periódico de El Niño, y otras causas, introducen la necesidad de combinar la hidráulica con la generación térmica.

La energía eólica es una buena alternativa si se combina con la hidráulica. En Europa occidental está teniendo un buen desarrollo, y en América Latina hay campos de viento muy prometedores, en especial la Patagonia, el Noreste Brasileiro o en México el istmo de Tehuantepec y la Baja California (figura 13).

Figura 13. Algunas áreas de energía eólica en el mundo.



Fuente: La crisis de hidrocarburos, Menéndez, E. (2005)

El gran problema de la energía eólica es que precisa de elevadas inversiones para poder alcanzar altas penetraciones en la generación de electricidad en una red cualquiera, a realizar tanto en los propios parques eólicos, como en las infraestructuras de transporte y otras de regulación de la red, bien sean éstas de almacenamiento por bombeo o bien de potencia térmica rodante para suplir estiajes eólicos.

Por su parte, la generación de energía eléctrica basada en la energía solar supone costos de generación muy elevados, durante décadas será una solución minoritaria, salvo que se produzca una ruptura tecnológica en los diseños fotovoltaicos que puedan incrementar la eficiencia de transformación y en paralelo reducir las inversiones específicas. Menéndez (20)

### **Autotransporte e hidrocarburos.**

Una gran demanda de derivados del petróleo se une a la movilidad, tanto de personas como de mercancías; ha crecido sensiblemente en las últimas

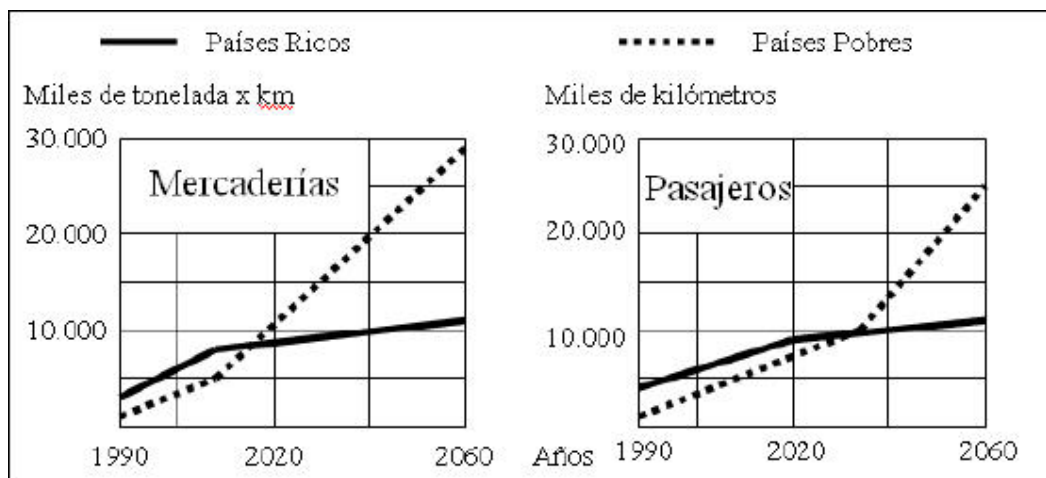
décadas, y parece que seguirá en esa línea, al menos las previsiones más extendidas apuntan a ello, salvo que pudiéramos darnos un cambio muy profundo en el modelo económico, o bien que nos vayamos a una crisis de disponibilidad de carburantes (figura 14).

Esto no sólo traerá una demanda muy fuerte de hidrocarburos, sino que a la vez será la causa creciente de problemas ambientales: contaminación urbana y cambio climático, hay que reconocer ya que el transporte es la primera causa de este fenómeno; aunque las restricciones a su evolución, si las hubiera, incidirían negativamente en el desarrollo social de amplias poblaciones del mundo.

Hay dos vías significativas de crecimiento económico para muchos países, la exportación de materias primas agrícolas y minerales, esto significa transporte de mercancías, y el desarrollo del turismo, lo cual implica mayor movilidad de personas, no sólo las que llegan sino también de las que prestan el servicio.

Esta demanda de movilidad significa una previsible presión al alza sobre el mercado de crudo y derivados, pero también el riesgo de que los precios altos de estos productos reduzcan la capacidad de desarrollo económico de ciertos países, agravando los problemas sociales internos en ellos, y forzando a la emigración de personas, sean o no admitidos en los países ricos. Menéndez (21)

Figura 14. Una previsión de evolución del transporte de personas y mercancías



- El número de ciudadanos de los países ricos es hoy la quinta parte del de los que viven en los países pobres. En 2050 sólo será la octava parte.
- El transporte de mercaderías crecerá rápidamente en los países pobres.
- La movilidad de personas aumentará lentamente en los países pobres

Fuente: La crisis de hidrocarburos, Menéndez, E. (2005)

## **Demanda energética.**

Una parte de la movilidad, del orden de la mitad del total en lo que se refiere a consumo energético, se realiza en entornos urbanos. Mayoritariamente es de personas, en ella hay dos tipos de transporte motorizado, que conviven en cualquier ciudad, y que suponen dos demandas energéticas muy distintas:

- a. **Transporte privado.**- En automóviles o motocicletas, a veces utilizados en exceso, incluso para distancias cortas; en general con un bajo grado de ocupación de los automóviles, por ejemplo en Madrid y Barcelona se estima en 1,1 personas por vehículo. Es una movilidad intensiva en demanda energética.
- b. **Transporte colectivo.**- En autobuses o en ferrocarril urbano, que son menos intensivas en consumo energético que la anterior, sobre todo la del ferrocarril, que adicionalmente permite la tracción eléctrica, reduciendo así la demanda de derivados de petróleo. Ahora bien los ferrocarriles urbanos suponen una inversión importante, que no todas las ciudades pueden acometer; aquí radica uno de los problemas críticos de desarrollo de muchos países.

Sobre los aspectos técnicos y económicos de la movilidad se sobreponen esquemas de comportamiento y las fuerzas que los dirigen. En muchos países se potencia directa o indirectamente el uso del vehículo privado, Madrid es un caso exagerado al respecto, donde se invierten grandes sumas de dinero en infraestructuras que faciliten ese uso; por el contrario hay ejemplos como el de Curitiba en Brasil que han conseguido una alta participación del transporte colectivo.

## **La agresión del cambio climático**

Los usos energéticos, y otras actividades, están dando lugar al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la alta atmósfera de la Tierra, y a un fenómeno de calentamiento global que induce lo que conocemos como cambio climático. Este se manifestará previsiblemente en el siglo XXI con situaciones extremas: lluvias fuertes, olas de calor o de frío, o sequías, que aparecerán con mayor frecuencia que épocas anteriores. Dos ejemplos del año 2006 son:

- Un número elevado de huracanes en el Atlántico, que ha sobrepasado en su nominación las letras del alfabeto latino y ha habido que recurrir al griego. El último de estos huracanes afectó a las Islas Canarias, lo cual supone un fenómeno atípico, Pero el problema más grave aparece en el Caribe y América Central, el desastre de Guatemala repite los de años anteriores.
- La sequía en ciertas zonas del mundo. El caso español es grave y aunque se han pasado otros periodos secos, este es especialmente intenso. Pero una llamada de alerta mayor es la de la Amazonía, con ríos llenos de peces muertos, con incendios de pasto, e incidencias graves sobre la población. Menéndez (22)

## Disponibilidad de hidrocarburos.

Las estimaciones realizadas por Menéndez (23), revelan que las reservas mundiales no son muy elevadas, suponen al ritmo actual de consumo: 40 años de extracción para el petróleo y 70 años para el gas natural. Los recursos no valorados pudieran multiplicar por tres esas reservas, pero parece que no más.

Teniendo en cuenta la evolución de la demanda, y suponiendo una extracción equilibrada y en un entorno de diálogo internacional, se podría pensar en disponer de suficientes hidrocarburos a lo largo de este siglo para atender la demanda global, o al menos hasta bien entrada la segunda mitad del siglo XXI.

Pero esa confianza no es generalizada, aparte de que los recursos que pueden pasar a valorarse como reservas pudieran ser menores que lo esperado, está la cuestión de la lucha por el control de los mismos, hecho que es heredero de las guerras y disputas que desde la antigüedad hemos vivido por el poder y el acceso a las riquezas naturales.

Las confrontaciones se agravaron a comienzos del siglo XX, cuando los efectos de la Revolución Industrial, trasladados entre otros al armamento, dividió al mundo entre lo que cínicamente el Primer Ministro del Reino Unido llamó: "naciones vivas" y "naciones moribundas", y que dio lugar al reparto global de influencias.

Si localizamos en un mapa donde hay hidrocarburos nos encontramos con uno como el de la figura 15, con más o menos certidumbres, pero que a efectos globales nos permite hacer reflexiones sobre lo que pueden hacer los grandes demandantes: Estados Unidos, Unión Europea, Japón, China e India; y cuál puede ser la posición de los oferentes. Todo ello pensando tanto en el momento actual como en el entorno del año 2030, que se intuye como un momento crítico.

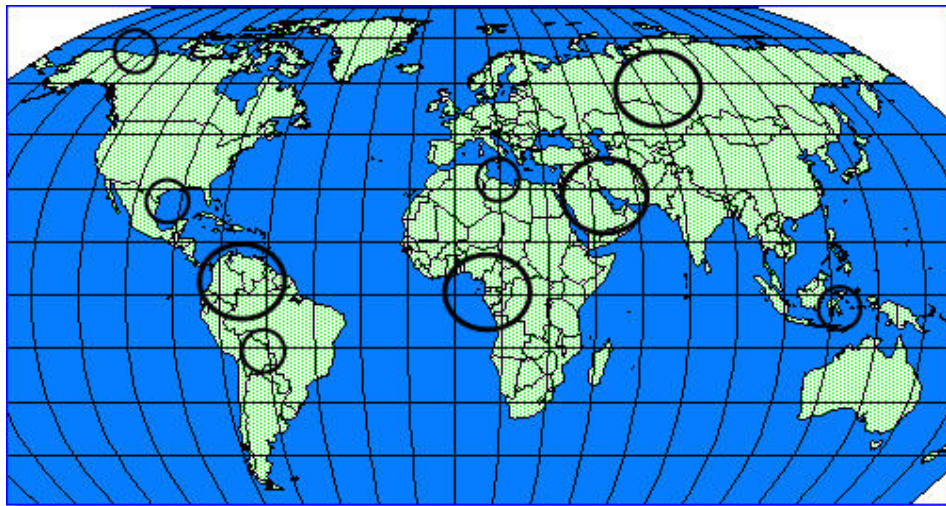
- **Estados Unidos.**- Va a incrementar su demanda exterior de hidrocarburos, los recursos de Alaska sólo paliarán esa dependencia. Intenta controlar Oriente Medio y sus reservas, pero no parece que eso sea fácil. Buscará incrementar los suministros en el Golfo de Guinea, de donde ya toma una parte de su consumo. No sabemos qué presión ejercerá sobre América Latina, pero es un aspecto de riesgo para la paz y del desarrollo social de la región.
- **Unión Europea.**- Es dependiente en un 50% del suministro exterior de energía, cifra que se incrementará progresivamente en la medida que se consuman los recursos del Mar del Norte, o se vislumbren los límites a los de Noruega. Su mirada se dirige a Rusia en buena medida, y a la esperanza de que se arregle el problema de Oriente Medio. Todo ello en un esquema de inseguridad energética muy preocupante.

En este conjunto España tiene una posición más complicada, con una dependencia del 75% del suministro exterior de energía, y una clara mirada al Norte de África como primer suministrador de gas natural.

- **Japón.-** Piensa en Oriente Medio y en Indonesia, su dependencia energética del exterior es casi total, lo cual le pone en una situación difícil, de la cual es consciente.
- **China e India.-** Seguirán incrementando sus demandas del exterior, ya que sus recursos de hidrocarburos son escasos. En conjunto pueden pasar a ser los grandes importadores de las próximas décadas, en buena medida serán abastecidos desde Oriente Medio y Asia Central, desde aquí con un previsible acuerdo con Rusia. Menéndez (24)

Figura 15. Reservas más significativas de hidrocarburos.

<b>Alaska:</b> Rechazo ecologista	<b>Rusia:</b> Controla amplias reservas, propias y de Kazajastán y otros. Dará suministro a Europa y lo intentará con Estados Unidos a través del Océano Ártico.
<b>Golfo de México:</b> Explotación intensiva, agotamiento en pocas décadas	



<b>Venezuela y Bolivia:</b> Reservas suficientes como para cubrir las necesidades de América del Sur durante el siglo XXI. También pueden atender las demandas de otros países.	<b>Golfo de Guinea:</b> Zona sin estructura social, será explotada por Estados Unidos
	<b>Oriente Medio:</b> Es un entorno complejo, difícil de llevar a una situación de diálogo y paz. Tiene las mayores reservas de hidrocarburos.

Fuente: La crisis de hidrocarburos, Menéndez, E. (2005)

### Combustibles y energías alternativos para el transporte

En algunos países ya se utiliza el gas natural, gas licuado vehicular, por ejemplo en Argentina, en Brasil o en Holanda. Es una opción para reducir la presión sobre los derivados del petróleo o para aprovechar otro recurso más cercano. Entre los productores de gas natural ya se baraja la posibilidad de obtener productos líquidos para una sustitución fácil y limpia de los derivados

del petróleo, tecnologías "gas to liquid"; esto revalorizaría la capacidad exportadora de gas natural.

La opción de obtener combustibles líquidos a partir del carbón es tecnológicamente factible, es económicamente viable con precios estables del crudo por encima de 60 \$/bbl en 2005. Ha habido países que por sus circunstancias especiales ya utilizaron esta alternativa, por ejemplo la República Sudafricana. Es previsible que se vaya hacia esta línea en un par de décadas, resolvería el problema del abastecimiento, pero incrementaría las emisiones de CO<sub>2</sub>; no es previsible que las tecnologías de captura de CO<sub>2</sub> sean una solución de amplia extensión.

Producir biocarburantes es una realidad en desarrollo, bien a partir de materias primas oleaginosas como la soja, que dan biodiesel, sustitutivo del gasóleo, o bien de otras que pueden liberar azúcares, desde la caña de azúcar a la madera, ésta con nuevas tecnologías actualmente en desarrollo, para obtener bioetanol, que sustituye a la gasolina.

Las capacidades de producción son limitadas, de una hectárea de terreno por término medio se pueden obtener anualmente en torno a 1.000 litros de combustible; la demanda mundial está hoy por encima de un millón de millones de litros, es decir habría que dedicar mucha tierra de labor para atender una parte significativa de esta demanda.

Ya algunos países han planteado objetivos de participación de los biocarburantes en su suministro de combustibles para el autotransporte; las razones ambientales pesan en ello, pues se considera que en los biocarburantes el ciclo de CO<sub>2</sub> se cierra, tanto se emite en su combustión como se fija en el crecimiento de sus plantas de origen, no es exactamente así, pero sí hay un importante ahorro de emisión neta.

En el cuadro 4 se recogen las propuestas que se plantean en algunos países, que se pueden dividir en dos grupos:

- Aquellos que tienen una alta relación de tierra disponible en relación con la demanda de combustibles. Argentina es un caso típico.
- Aquellos otros cuya disponibilidad de tierra de labor es baja en relación a su demanda de combustibles. Es el caso de la Unión Europea.

Ya se está dibujando un mercado internacional de materias primas, por ejemplo soja, que si bien da una oportunidad de exportación a ciertos países, abre el campo a los monocultivos energéticos, con una previsible incidencia negativa sobre los pequeños propietarios, y también con una agresión a la biodiversidad desde esos monocultivos. Es un tema que cada país debe analizar y para el cual ha de establecer normas regulatorias al respecto. Menéndez (25)

Entre los combustibles para el transporte, hay que considerar el hidrógeno como una opción, aunque hay que advertir que la tecnología no está madura, en especial en lo que respecta a los procesos de obtención, transporte y distribución de hidrógeno; no se consigue una elevada concentración

energética en los depósitos de los automóviles, y se consume una parte proporcionalmente importante de energía hasta que el gas es utilizado en el vehículo.

El hidrógeno es una solución costosa de momento, que avanza lentamente, que no parece que se pueda extender antes de un par de décadas, y en ese supuesto sólo para consumidores de alto nivel adquisitivo.

Cuadro 4. Previsiones de utilización de biocarburantes en el mundo.

**Objetivos de utilización de biocarburantes:**

**Argentina.-** Alcanzar el 5% de biocarburantes en la mezcla de los combustibles de automoción dentro de cinco años.

**Brasil.-** Mantener el consumo de bioetanol como combustible y además ir a que todas las gasolinas lleven un 25% de bioetanol.

**Canadá.-** Llegar a mezclas en gasolina con particiones del 7,5 a 10% de bioetanol.

**Colombia.-** 10% de bioetanol en las estaciones de las ciudades para el año 2025.

**China.-** 10% de mezcla con bioetanol en varias provincias.

**Estados Unidos.-** 4% de bioetanol para 2010 y 20% para 2030.

**Unión Europea.-** 5,75% de biocarburantes en el valor energético total del consumo de carburantes para el año 2010, y 8% al 2020.

Fuente: La crisis de hidrocarburos, Menéndez, E. (2005)

Sí es factible en la actualidad la utilización de vehículos eléctricos. En Francia, aprovechando su disponibilidad de electricidad de origen nuclear, se comercializan ya automóviles de tracción eléctrica; el vehículo es barato, de reducidas prestaciones, y la electricidad consumida resulta más cara que los carburantes convencionales. La opción está ahí, pero sólo es factible en países que puedan hacer inversiones fuertes para desarrollar un sistema eléctrico de alta capacidad de generación.

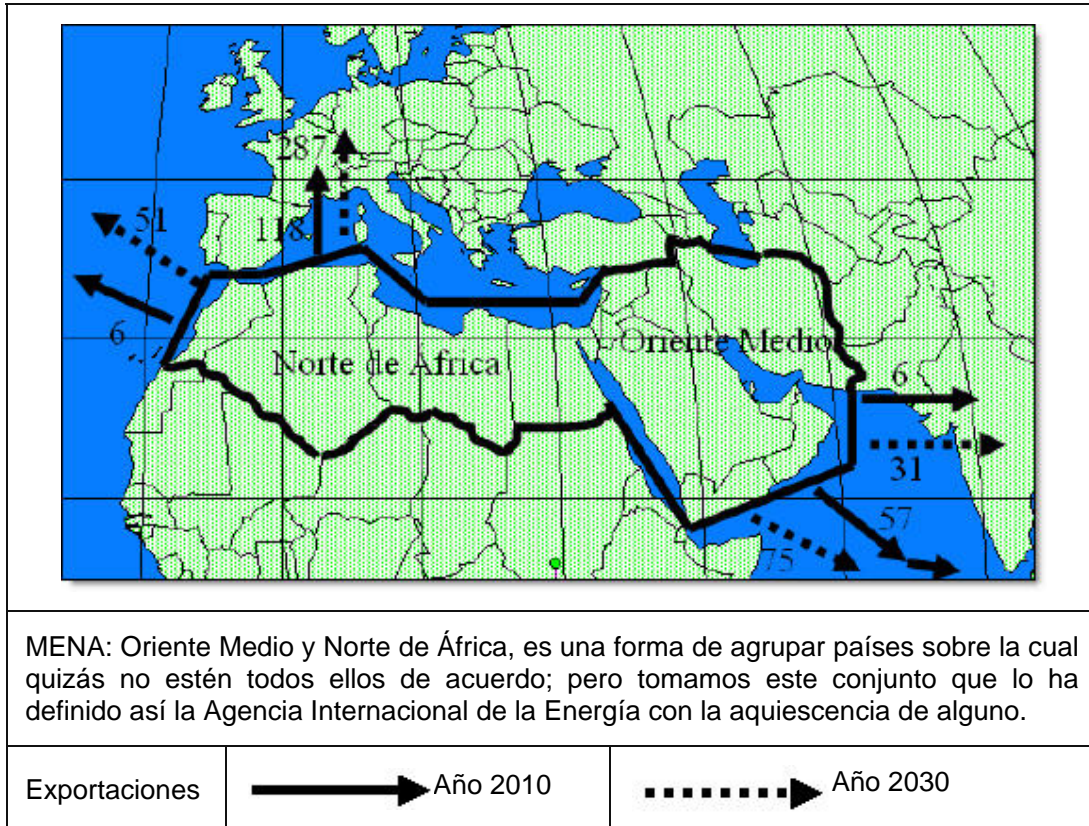
### **Gas natural**

La Agencia Internacional de la Energía (figura 16), plantea que las exportaciones de gas desde un conjunto de países de Oriente Medio y Norte de África se doblen entre los años 2010 y 2030. Esto técnicamente parece posible, pero implica que:



- La situación política en Oriente Medio se reconduzca, y los planteamientos islamistas radicales no se extiendan hacia otros países de religión musulmana. No parece nada fácil que esto sea así.
- Es preciso realizar en esa región una inversión equivalente a 1,500,000 millones de dólares en total. Esto es unos 56,000 millones de dólares anuales. Es una cifra razonable, la cuestión es quien invertirá ese dinero sobre la mesa.

Figura 16. Previsiones de suministro de gas natural en el futuro desde "MENA".



Fuente: La crisis de hidrocarburos, Menéndez, E. (2005)

Otro ejemplo nos lo da el gas ruso en su viaje hacia Europa. En la actualidad se suministra en buena parte a través de Ucrania, ahora bien Rusia pretende que Ucrania pague su parte de consumo a precios de mercado internacional, olvidando acuerdos anteriores, este último país amenaza con cortar el paso u otras acciones en represalia.

Pero lo que más nos debería preocupar es la posición alemana, que obvia la solidaridad entre países de Europa Occidental, se olvida de Polonia en el proyecto de nuevo gasoducto, a través del mar báltico, en una jugada en la que los jefes sacan su beneficio particular, evidentemente muy elevado, tal como muestra la figura 17.

Sí nos vamos al otro lado del Atlántico nos encontramos aspectos a comentar. En primer lugar Estados Unidos tiene cuatro terminales de regasificación para importar gas licuado en la costa atlántica, y ninguna en la costa del Pacífico; como previsiblemente necesitará nuevos puntos de llegada se plantea que sea México, en la Baja California, quien construya esas plantas y envíe el gas por gasoducto, todo ello por el riesgo de los ataques terroristas a las plantas de regasificación.

Figura17. Un esquema alemán de abastecimiento con gas natural ruso.



Fuente: La crisis de hidrocarburos, Menéndez, E. (2005)

Bolivia tiene una larga experiencia de que le tomen materias primas hacia otros países: plata, caucho y estaño, sin que ello de ningún beneficio a la población indígena o a las clases sociales de bajo nivel económico. Hoy se plantea que razón hay para exportar gas natural en las mismas condiciones. El Presidente Evo Morales tiene razones al dibujar otros escenarios y modelos de actuación.

Las mayores reservas de gas natural en América Latina se encuentran en Venezuela, allí hay previsión de construir una planta de licuación de gas para exportar. Hay que esperar a ver los planteamientos del gobierno venezolano, que previsiblemente serán distintos de las islas vecinas de Trinidad y Tobago, que son hoy los grandes exportadores de la zona

En Argentina hay gas natural, pero las reservas son pequeñas, no parece que los recursos sin valorar puedan incrementar sensiblemente la cifra de aquellas. Quizás se están consumiendo de manera rápida, sobre todo al confiar en ellas para parte de la generación eléctrica propia y de otros países.

El gas natural puede ser un paliativo para la crisis del petróleo, pero habrá que ver ambos combustibles de forma conjunta, y en relación con todo el esquema energético y su evolución. Pero sobre todo habrá que escuchar lo que los pueblos que disponen de ambos combustibles nos planteen. Hay reflexiones al respecto, desde diferentes puntos de vista, que conviene tener en cuenta. Menéndez (26)

### **Demandas científicas y tecnológicas. Cooperación**

En este contexto se necesita un esfuerzo importante en investigación y desarrollo tecnológico. La vía continuista nos puede llevar a la utilización extensiva del carbón, obteniendo de él hidrocarburos, también aquí es preciso ciencia y tecnología, aunque sea una solución conocida. El almacenamiento y conversión del CO<sub>2</sub> es un aspecto sobre el cual trabajar.

El tema de los biocarburantes es un reto regional y local de investigación y tecnología de aplicación específica en varios entornos mundiales, en particular en América Latina. Por un lado la pregunta es cuales son los tipos de cultivos más adecuados, y en paralelo como será la incidencia ambiental de un amplio desarrollo agrícola con esos cultivos. Luego está el desarrollo de las vías de obtención de productos finales, tanto de los derivados de semillas oleaginosas, como del bioetanol, sobre este se abren opciones muy diversas.

- **Caña de azúcar.**- Brasil ha sido el gran impulsor de esta opción, el hecho de que la mitad de su consumo de carburantes se haya podido atender con bioetanol es una prueba de que hay que considerar industrialmente esta solución, con sus pros y contras, ante estos últimos hay que resaltar la incidencia ambiental. Es extensible a países de clima tropical en América y África.
- **Cereales.**- Esta vía se está extendiendo en Estados Unidos y Europa, la productividad por superficie cultivada y los resultados económicos son inferiores a la anterior. Previsiblemente aparecerá un cierto rechazo social al empleo de potenciales alimentos en obtener biocarburantes.
- **Tubérculos.**- Es otra opción que requiere una cierta maduración tecnológica, puede tener interés si se dirige a vegetales de uso alimentario de tipo secundario y se extiende por terrenos marginales.

- **Materiales celulósicos.**- Son la paja, las astillas de madera y otros; es una gran alternativa de disponer de materias primas en diversas latitudes y en grandes cantidades, previsiblemente con un bajo impacto ambiental; Chile es un país que ha estudiado el tema con cierta profundidad, al igual Canadá y España. Hay tecnologías en desarrollo que pueden ser utilizadas en pocos años.

Pero además previsiblemente se debería pensar ya en un esquema energético de baja presencia de hidrocarburos.

En ese supuesto nos aparecen dos opciones amplias de uso final de la energía, que son complejas y de elevada inversión:

- a. **Electricidad.**- Aumento significativo de su participación en el esquema global de uso final de energía, incluyendo una parte significativa del transporte. Supone inversiones muy elevadas en el desarrollo del sistema eléctrico, pero también en construcción de las infraestructuras de transporte.

El sistema debiera apoyarse en gran medida en las energías renovables: hidráulica, eólica y solar. Pero además debiera desarrollar nuevas tecnologías de almacenamiento de electricidad; junto con otras de información en tiempo real de la situación del sistema eléctrico en generación y consumo, para adaptar este a las disponibilidades en la red.

- b. **Hidrógeno.**- Es una solución que desde el punto de vista de producción de este combustible puede pasar por una primera fase de obtención a partir del carbón o del gas natural, aunque debiera caminar pronto hacia la descomposición electrolítica del agua con electricidad preferentemente de origen renovable, aunque previsiblemente la de procedencia nuclear tendrá su papel.

Se necesita una labor científica ya para conocer cuáles son los efectos del hidrógeno en la atmósfera, y en particular sí éstos pueden incidir en el agujero de ozono y en la mayor vida de los gases de efecto invernadero. No se puede ir hacia un nuevo vector energético sin saber cuáles son sus problemas potenciales.

Las tecnologías de almacenamiento y distribución tienen un reto en que no supongan un consumo propio de energía elevado, y que proporcionen este combustible con una concentración energética similar a la de los derivados del petróleo, en particular para su aplicación al autotransporte.

Las alternativas de uso, bien sea combustión convencional o las celdas de combustible, demandan desarrollos tecnológicos, en la segunda de las alternativas el camino todavía parece largo y debiera dirigirse hacia la reducción de costes a fin de que pueda ser una solución de amplia extensión.

La "revolución tecnológica en energía" puede significar una nueva ruptura entre dos tipos de países, los que accedan a las futuras opciones y aquellos que no puedan extenderlas por el elevado costo que signifiquen. Se necesita de cooperación internacional al efecto, y también la conveniencia de crear grupos de países con masa crítica suficiente para poder acceder a la tecnología y a su implantación. Menéndez (27)

### **La transición según entornos.**

De acuerdo a la referencia antes citada, en el mundo hay diferentes áreas geográficas y sociales, que se definen por diferentes aspectos; el de consumo energético, o de disponibilidad de fuentes de energía, va a ir teniendo su peso y a la vez se irá superponiendo a otros matices políticos y económicos. Estas cuatro áreas son:

- I. **América del Norte.**- Incluye Canadá, Estados Unidos y quizás a México. Tiene poder político y capacidad de desarrollo tecnológico, no olvidemos que la más importante investigación en hidrógeno y celdas de combustible para la automoción se está realizando aquí.

Su reto es disponer de petróleo y gas natural hasta el año 2040, sus reservas están descendiendo sensiblemente; luego pueden ir a la vía del hidrógeno a partir de energías renovables o nuclear. Tienen carbón, y bituminosas, para soportar esa transición. Pero previsiblemente incidirán en el resto del mundo para controlar el petróleo y el gas natural de otras procedencias.

- II. **América Latina.**- Tiene recursos propios de diversos tipos de petróleo, ligero y pesado, y en menor medida de gas natural, para poder abastecerse durante el siglo XXI. Ahora bien ha de exportar para tener ingresos con los que cumplir su desarrollo social.

Hay una lógica en guardar hidrocarburos para bastantes décadas, las capacidades de inversión de América Latina en energías renovables son limitadas, y el posterior acceso al vector hidrógeno y nuevas tecnologías llevará un tiempo de desarrollo e implantación. En el tránsito, ahora ya, tiene una buena oportunidad de producir biocarburantes.

- III. **Unión Europea.**- Su dependencia exterior del suministro energético puede ser un problema que se agrave en unas décadas, teniendo además en cuenta que su disponibilidad de territorio para cultivos energético y otras energías renovables no es muy elevada.

Por un lado está obligada a buscar acuerdos de suministro de hidrocarburos desde: Rusia, Oriente Medio y África del Norte; los tres entornos son orígenes que tienen potenciales problemas de relaciones políticas, y de demandas de abastecimiento a otros países, en particular China e India.

Parece lógico que se hicieran aproximaciones a América Latina, pero evidentemente entendiendo como es ahora esta región, y como puede evolucionar a corto plazo. Portugal y España debieran estar interesadas en esta relación, y algo pueden aportar de reflexión al respecto.

De otro lado la capacidad europea de desarrollo tecnológico es importante, ya diseña programas de hidrógeno y celdas de combustible, quizás poco concretos y sin objetivos claros. Pero puede utilizar esta posición para establecer relaciones con los actuales suministradores de hidrocarburos.

IV. **Norte de África.**- Se separa de Oriente Medio ya que hay sensibles diferencias entre ambas regiones. Es un buen suministrador de gas al sur de Europa. Tiene una población que crece de manera significativa, y que en parte emigra a Europa.

Es una zona que precisa de un esfuerzo inversor muy fuerte, en servicios e infraestructuras; que en el contexto energético han de incluir no sólo las de exportación de hidrocarburos, sino también las de electrificación para muchos usos, entre ellos los de desalación de agua de mar.

Estos países deben extraer los recursos energéticos con tiento, para su uso propio y para exportación, pero a un ritmo que permita disponer de ellos hasta que el cambio energético se consolide y les sea asequible. El reto es para ambas riveras del Mediterráneo. Menéndez (28)

## 2.5 Necesidad de contener la contaminación.

De acuerdo a Mustafa (29), las fuentes de energía jugarán un rol importante en el futuro mundial. La energía puede ser determinada como un factor primario en el proceso de desarrollo de cualquier país. La demanda de energía primaria se estima continué creciendo constantemente, como la ha sido en las dos pasadas décadas. La población mundial se espera sea el doble al final del siglo XXI. Existe una fuerte relación positiva entre la producción de energía/consumo y el desarrollo económico/ progreso científico. La energía afecta todos los aspectos de la vida moderna.

La demanda energética se incrementa en una relación exponencial debido al crecimiento de la población mundial y su actividad productiva. Las reservas energéticas mundiales se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Reservas energéticas mundiales

Deuterio	Uranio	Carbón	Petróleo de esquisto	Petróleo Crudo	Gas Natural	Alquitrán
$7.5 \times 10^9$	$1.2 \times 10^5$	320	79	37	19.6	6.1

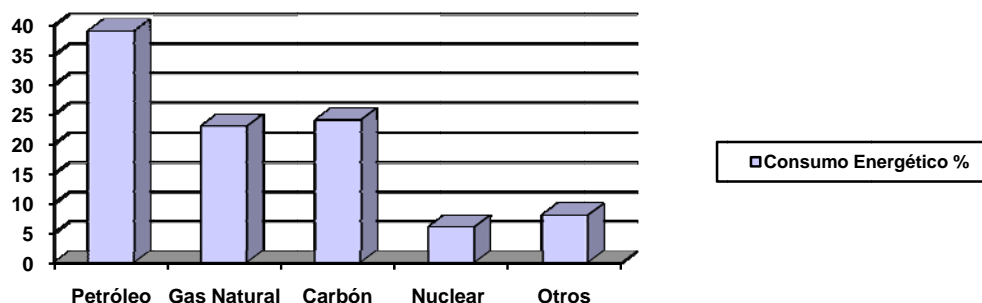
Cada unidad =  $1 \times 10^{15}$ .

MJ =  $1.67 \times 10^{11}$  Barriles petróleo crudo

Fuente: Mustafa, Balat (2006), Energy and Greenhouse Gas Emissions: A Global Perspective, Energy Sources.

El total de consumo de energía a nivel mundial se incrementará en 58% entre 2001 y 2025, de 404 cuatrillones de Btu en 2001 a 640 cuatrillones de Btu en 2025. El consumo final de energía mundial en 2001 fue: 39% petróleo, 23% gas natural, 24% carbón, 6% nuclear y otros 8% (gráfico 1).

Gráfico 1. Porcentaje de consumo energético en el mundo en 2001.



(Fuente: EIA, 2003)

Se predice que los combustibles fósiles serán la fuente primaria de energía para las siguientes décadas.

El riesgo de un cambio climático debido a las emisiones de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) proveniente de combustibles fósiles, es considerado como el principal problema ambiental de los sistemas existentes de energía. Otros problemas ambientales son la acidificación y la dispersión de metales originado, por los combustibles fósiles. Por lo que el reto para los próximos años es el desarrollo de soluciones técnicas que permitan el continuo uso de fuentes fósiles pero limitando las emisiones de  $\text{CO}_2$ . Las fuentes fósiles suministran una gran parte de la energía primaria total mundial, cerca del 75%. Mustafa (30)

Las emisiones de  $\text{CO}_2$  causadas por actividades humanas son generalmente consideradas las más importantes. Las emisiones de  $\text{CO}_2$  mundiales provienen del consumo del petróleo, gas natural y carbón. El total de emisiones de  $\text{CO}_2$  se estiman sean 7,700 millones de toneladas métricas en 2010, 10,400 millones de toneladas métricas en 2025 y 15,000 millones de toneladas métricas en el año 2050. Mustafa (31)

China es el mayor emisor mundial de  $\text{CO}_2$  proveniente del consumo de carbón, las emisiones fueron 639 millones de toneladas métricas en 2001. En EU las emisiones fueron de 561 millones de toneladas métricas en el mismo año.

En cuanto a emisiones de  $\text{CO}_2$  generadas por gas natural, EU es el mayor emisor en el mundo con 347 millones de toneladas métricas en 2001. En el mismo año en Rusia las emisiones fueron del orden de 205 millones de toneladas métricas.

En referencia al sector industrial, sólo el 20 – 25% de emisiones de gases de efecto invernadero provienen del sector de la transportación. La participación de emisiones continúa en aumento debido al incremento de las actividades del transporte.

En 1950 había sólo 70 millones de automóviles, camiones, autobuses a nivel mundial, para 1994, ya había nueve veces esta cantidad, ó 630 millones de vehículos. Desde 1970 existe una tendencia de crecimiento de la flota vehicular de 16 millones de vehículos por año. Esta expansión también va acompañada de un crecimiento en el consumo del combustible. Si este tipo de crecimiento lineal continúa, para el año 2050, existirán cerca de 1 billón de vehículos a nivel mundial.

### Otros Gases de Efecto Invernadero (GEI).

El segundo más importante GEI después del CO<sub>2</sub>, es el metano (CH<sub>4</sub>), procedente de la descomposición de los desechos de los animales domésticos (vacas, puercos, caballos, ovejas) y otros animales. Las emisiones anuales de metano generado por animales domésticos son aproximadamente 100 millones de toneladas. Los campos de cultivo de arroz producen cerca de 60 millones de toneladas anuales.

La contribución del CH<sub>4</sub> y otros GEI al calentamiento global es generalmente expresada en términos de su potencial de calentamiento global (PCG) dentro de un período de 100 años. De acuerdo al índice del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en ingles), el PCG del CH<sub>4</sub>, si este es aplicado a un horizonte en tiempo de 100 años, es de 21 en términos de su habilidad de atrapar calor dentro de la atmosfera terrestre. Esto significa que una tonelada de CH<sub>4</sub>, es equivalente a 21 toneladas de CO<sub>2</sub>. El potencial de los principales GEI al calentamiento global se muestra en el siguiente cuadro número 6.

Cuadro 6. GEI y su potencial contribución al calentamiento global.

GEI	Efectividad Relativa		Tiempo de Vida Media (años)	Contribución Relativa	
	Por (kg)	Por (mol)		Por (kg)	Por (mol)
CO <sub>2</sub>	1	1	120 - 500	1	1
CH <sub>4</sub>	70	25	7 - 14.5	15 - 30	05-Oct
N <sub>2</sub> O	210	210	120	320	320
O <sub>3</sub>	1,800	2,000	0.01	3	4

El tiempo de vida media, es una medida del tiempo el GEI permanece en la atmósfera. Si el tiempo de vida media es de 150 años, una mitad de la cantidad inicial permanecerá después de 150 años.

Fuente: EIA, 2003.

Las emisiones de oxido nitroso (NO) provienen de procesos de combustión a altas temperaturas, como aquellas que ocurren en los motores de combustión y plantas de poder; los transportes terrestres son simplemente la más grande fuente.



El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) es formado durante el proceso de combustión de combustibles con altos niveles de azufre para la generación de energía eléctrica, fundición de metales, refinerías, y otros procesos industriales.

Estimaciones recientes de emisiones mundiales de mercurio, indican que EUA y Europa contribuyen con el 25% de las emisiones mundiales antropogénicas. La mayoría de las emisiones provienen de la combustión de combustibles fósiles, dando un total de 1,913 toneladas anuales.

Los clorofluorocarbonos (CFCs) y otros halocarbonos son extremadamente potentes GEI. Estos son liberados en pequeñas cantidades, pero un kilogramo del más comúnmente usado CFCs, puede tener directamente un efecto en el clima mil veces más grande que un kilogramo de dióxido de carbono. Adicionalmente en las últimas dos décadas el porcentaje de CFCs en la atmosfera ha incrementado más que otros GEI.

Durante las pasadas dos décadas, el riesgo y la realidad de una degradación del medio ambiente han sido más aparentes.

Evidencia creciente de problemas ambientales conforme a Arjona (32), son debidos a la combinación de diversos factores, entre ellos el impacto ambiental por las actividades humanas que han crecido dramáticamente debido al incremento constante de la población mundial, consumo, actividades industriales, etc.

Se establecen cuatro problemas ambientales de carácter global a los que debemos enfrentarnos todos los países, pero especialmente los industrializados:

- El cambio climático: producido fundamentalmente por los gases de efecto invernadero que está provocando el calentamiento del planeta.
- El agotamiento de la capa de ozono, provocado principalmente por las emisiones de clorofluorocarbonados y que permite la entrada de los rayos ultravioletas con el daño que supone para todos los seres vivos.
- La contaminación del medio físico (aire, agua y suelo) derivada de la actividad del ser humano, fundamentalmente de la generación de residuos.
- La destrucción de los recursos naturales (deforestación, desertización y pérdida de biodiversidad). En la actualidad la superficie forestal de nuestro planeta (excluyendo el territorio de la Antártida) supone el 30% del total y sigue una tendencia descendente. En dicha superficie se produce el 90% de la biodiversidad de la tierra por ello garantizar las áreas forestales es fundamental para mantener la biodiversidad.

En este contexto la situación de los países en desarrollo es especialmente frágil pues son más vulnerables a los efectos producidos por el cambio climático ya que su economía depende fuertemente de la agricultura y la pesca. Por ejemplo en regiones como el África Sub-Sahariana y el Sur y Este Asiático

la productividad agraria ha disminuido notablemente por causa de la sequía y la variación en la época de lluvias. Además tienen menos capacidad de reacción que los países desarrollados para responder al cambio climático.

El problema se agrava en la actualidad con el crecimiento de varias economías emergentes como Brasil, Rusia, China, India y México, que están contribuyendo en gran medida al deterioro ambiental, por el gran crecimiento de la producción industrial que demanda grandes cantidades de combustibles fósiles.

En referencia a ello, la SENER (33), muestra las características tanto en la composición del parque de generación como en la canasta de combustibles para generación de electricidad y la eficiencia en cada país determinan la intensidad de las emisiones de GEI por unidad de energía eléctrica producida, p. ej. Millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente ( $MtCO_2e$ ) por kilowatt o megawatt-hora generado.

A diferencia de los países donde las fuentes renovables tienen una mayor participación en la generación de electricidad, resulta evidente que dicha intensidad es más alta en los países con una utilización intensiva de combustibles fósiles para producir su energía eléctrica, siendo el caso de Australia, India, China, Sudáfrica y EUA (cuadro 7).

La volatilidad de los precios de los hidrocarburos, las necesidades de reforzar la seguridad energética y la identificación de oportunidades de mitigación de emisiones de GEI, constituyen un conjunto de factores de decisión para la diversificación del uso de fuentes primarias para generar electricidad, lo cual implica evaluar con un sentido mucho más amplio el panorama de opciones tecnológicas a considerarse en la planeación y construcción de nueva capacidad alrededor del mundo.

Desde otra perspectiva, uno de los premios Nobel de economía propone una nueva fórmula para medir el desarrollo económico, donde se revalore la importancia de preservar los recursos agua y suelo atribuyéndoles un precio. Además de modificar la lógica del sistema económico, que procura ahorrar mano de obra en los procesos productivos, para en adelante procurar el ahorro de estos recursos (agua y suelo) que son escasos. Stiglitz (34)

Cuadro 7.

Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente en generación eléctrica

Países OCDE <sup>1</sup>				Países No-OCDE <sup>3</sup>			
País	Emisiones (MtCO <sub>2</sub> e)	Generación (GWh)	tCO <sub>2</sub> e/MWh	País	Emisiones (MtCO <sub>2</sub> e)	Generación (GWh)	tCO <sub>2</sub> e/MWh
Australia	213.79	230,217	0.929	India	587.77	699,041	0.841
Grecia	35.94	52,022	0.691	China <sup>4</sup>	2,103.89	2,535,892	0.830
EUA	2,215.53	3,965,847	0.559	Sudáfrica	195.93	244,920	0.800
Reino Unido	176.87	351,388	0.503	Israel	39.16	49,843	0.786
México <sup>2</sup>	112.46	225,079	0.500	Indonesia	88.13	127,362	0.692
Holanda	20.56	41,708	0.493	Arabia Saudita	107.24	176,124	0.609
Alemania	252.02	516,149	0.488	Chile	16.53	49,941	0.331
Italia	96.44	210,170	0.459	Ecuador	4.02	13,404	0.300
Turquía	69.55	159,610	0.436	Ucrania	55.13	186,055	0.296
Portugal	18.42	42,406	0.434	Argentina	25.55	105,765	0.242
Japón	377.83	972,884	0.388	Venezuela	19.00	101,544	0.187
España	94.94	264,321	0.359	Perú	4.11	25,499	0.161
Canadá	104.21	554,622	0.188	Colombia	6.29	51,566	0.122
Austria	7.02	49,245	0.143	Uruguay	0.79	7,684	0.103
Francia	26.37	541,355	0.049	Brazil	20.49	403,032	0.051
Suecia	0.20	129,969	0.002	Costa Rica	0.11	8,252	0.013
Noruega	0.12	115,918	0.001	Rusia	0.00	953,086	0.000
Islandia	0.00	8,493	0.000	Asia (excluyendo China)	1,038.49	1,599,645	0.65
Suiza	0.00	58,377	0.000	Medio Oriente	400.07	639,982	0.63
OCDE Norte América	2,433.16	4,745,548	0.513	África	342.47	565,908	0.61
OCDE Asia Pacífico	766.25	1,611,876	0.475	América Latina	142.66	905,800	0.157
OCDE Europa	890.03	2,803,242	0.318	Total No-OCDE	4,181.10	7,847,524	0.533
Total OCDE	4,089.43	9,160,666	0.446	Total mundial	8,306.56	18,306,725	0.454

<sup>1</sup> Datos de 2006.<sup>2</sup> El dato de emisiones para México corresponde a lo publicado en el Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012.<sup>3</sup> Datos de 2005.<sup>4</sup> Incluye Hong Kong.Fuente: *Tracking industrial energy efficiency and CO<sub>2</sub> emissions 2007*, International Energy Agency, 2008.

Fuente: Secretaría de Energía (2009)

**El Protocolo de Kioto: Acuerdo hacia una transición posible.**

En esencia el Protocolo de Kioto convoca a una reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre) a los países desarrollados y a algunos países con economías en transición. Esta iniciativa surgida en diciembre de 1997 bajo la Convención Marco sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas, podría tener en el futuro profundos efectos sobre el uso de combustibles de los países que lo ratifiquen. Cabe señalar que México firmo su adhesión a este protocolo como país miembro del anexo II el 9 de junio de 1998 y lo ratifico el 7 de septiembre de 2000.

**La conferencia de Bonn y los enfoques de política hacia las energías renovables.**

La Conferencia Internacional para las Energías Renovables tuvo lugar en la ciudad de Bonn del 1º al 4 de junio de 2004, contando con la participación de 154 países, entre ellos México. La declaración política resultante estableció como puntos más importantes los siguientes:

1. Las energías renovables, "...junto con una mayor eficiencia energética pueden contribuir significativamente al desarrollo sustentable, a proveer acceso a la energía, especialmente para los pobres, a mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, y a reducir la perjudicial contaminación

*del aire, creando así nuevas oportunidades económicas y aumentando la seguridad energética a través de la cooperación y la colaboración.”*

2. El compromiso de los países participantes de aumentar de manera sustancial y con carácter urgente la participación global de las energías renovables en la oferta energética.
3. El compromiso para reducir a la mitad la proporción de personas que viven en la extrema pobreza y alcanzar la sustentabilidad ambiental para 2015. Esto requerirá que los países en desarrollo tengan un mayor acceso a la energía. A este respecto, con una mejoría en el desarrollo de los mercados y en las formas de financiamiento, las energías renovables podrían satisfacer las necesidades de hasta mil millones de personas.
4. La necesidad de contar con marcos regulatorios y políticos coherentes, tomando en cuenta las diferencias entre países, con el objetivo de desarrollar los crecientes mercados de tecnologías de energías renovables y que reconozcan el papel del sector privado, lo que implica la eliminación de barreras, la competencia limpia y considerar las externalidades para todos los tipos de energía.
5. El considerar la crucial importancia de una mejor cooperación internacional para el desarrollo de capacidades, la transferencia de tecnología, las disposiciones gubernamentales efectivas a todos niveles, la responsabilidad por parte de las empresas, los microfinanciamientos, y la cooperación público-privada entre otras. También consideran que instituciones como el Banco Mundial y los bancos regionales de desarrollo deberían expandir significativamente sus inversiones en energías renovables y eficiencia energética, así como establecer objetivos claros en sus carteras en relación con las fuentes renovables de energía.

La revisión de estos puntos evidencia la magnitud de la labor política educativa y tecnológica que deberá realizarse a nivel nacional e internacional en los próximos años para lograr un mayor desarrollo de las energías renovables, sin embargo constituye un excelente punto de partida para que estas acciones permitan el arranque armonioso y efectivo de una nueva transición energética.

## **2.6 Marco Legal y Regulatorio Institucional**

La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), que regula la provisión de electricidad en México, no permite a los particulares la libre compra-venta de energía, pero sí su generación, ya sea para autoabastecerse, o para complementar procesos productivos mediante la cogeneración, sujetos a permiso de la CRE. Los particulares también pueden generar energía para la CFE, en esquemas de productor externo y de pequeño productor, así como para exportarla. De 1994 a 2005 la CRE ha aprobado 348 permisos de generación de electricidad, de los cuales 317 están en operación.

## **Iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE).**

En Diciembre del 2005 se aprobó en la Cámara de Diputados la iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía (LAFRE), en la que se establece la creación de un Programa para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía.

Se define como meta para el 2012, un porcentaje mínimo de participación de las Energías Renovables (ER) en sus distintas modalidades, respecto a la generación total de electricidad, del 8%, sin incluir las grandes hidroeléctricas. La SENER elaborará y coordinará la ejecución del Programa para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía.

Para el cumplimiento de las metas establecidas en la iniciativa de ley, se estima necesario destinar aproximadamente 600 millones de pesos al año (equivalente a 55 millones de USD; pesos de 2005) para dar incentivos que fomenten la inversión pública y privada con miras a que se instalen y se pongan en operación proyectos que generen electricidad para el servicio público, utilizando tecnologías competitivas.

Se estima necesario destinar asimismo, recursos adicionales del orden de 400 millones de pesos al año para la promoción de otras tecnologías (aplicaciones eléctricas o no eléctricas) menos maduras consideradas como estratégicas para México, así como para fomentar la investigación y el desarrollo tecnológico nacional y el desarrollo social y económico de las regiones y los sectores de la población más atrasados. SENER (35)

La ley señala, entre otras cosas, que los pagos a los generadores por la energía que entreguen a las redes del Sistema Eléctrico Nacional reflejarán los costos evitados por los suministradores en virtud de la operación de los proyectos de generación. Asimismo, el Sistema Eléctrico Nacional deberá aceptar la electricidad generada a partir de Fuentes Renovables en cualquier momento que se produzca.

Respecto al destino de los fondos del Fideicomiso, establece que durante el primer año de operación, los recursos federales aportados se utilizarán de la siguiente forma:

- 55% para el “Fondo Verde”, que incentive el uso de tecnologías renovables maduras (aplicaciones eléctricas).
- 6% para el “Fondo de Tecnologías Emergentes” (aplicaciones eléctricas).
- 10% para el “Fondo de Electrificación Rural”.
- 7% para el “Fondo de Biocombustibles”.
- 7% para el “Fondo General de ER” (aplicaciones no eléctricas).
- 15% para el “Fondo de Investigación y Desarrollo Tecnológico de las ER (FIDTER)”.

Por último, se establece que al menos el 20% de los recursos del FIDTER serán destinados a la evaluación de los potenciales nacionales de las ER.

A fin de promover el desarrollo de proyectos privados de energía en la modalidad de autoabastecimiento mediante ER del tipo intermitente, la CRE aprobó instrumentos de regulación que consideran la disponibilidad intermitente del energético primario. La materia de estos instrumentos comprende la energía eólica, la solar y la hidroelectricidad con almacenamiento o disponibilidad de agua limitada.

Con estos instrumentos se permite al auto-abastecedor inyectar a la red de transmisión del suministrador la energía eléctrica generada, cuando se cuente con el energético primario, para ser consumida por sus centros de consumo cuando éstos lo requieran.

En el pasado los instrumentos de regulación aplicables a las ER no reconocían la potencia que aportan los equipos de generación de energía eléctrica de este tipo a las horas de máxima demanda del Sistema Eléctrico Nacional. Por tal motivo, la CRE aprobó en enero de 2005 las modificaciones al modelo de Contrato de Interconexión aplicable a este tipo de fuentes, donde se determina la "Potencia Autoabastecida" del permisionario como el promedio de las potencias medidas en el Punto de Interconexión, que se hayan presentado en los 12 intervalos de medición incluidos dentro de la hora de máxima demanda para todos los días laborables del mes en cuestión.

Esta Potencia Autoabastecida permitirá reducir el cargo por demanda facturable de los centros de consumo del Permisionario.

También se propone que el intercambio de energía eléctrica, que actualmente se realiza utilizando el Costo Total de Corto Plazo, se realice a través del cargo variable de las tarifas eléctricas, buscando así una mayor transparencia al determinar la cantidad de energía que el permisionario intercambia con sus socios. SENER (36)

### **Otras Iniciativas.**

Iniciativa para modificar la Ley del Impuesto Sobre la Renta: Propone un nuevo estímulo fiscal que promueva la inversión y uso de ER para vivienda, que consiste en un crédito fiscal del 30% a la inversión en equipos para la generación de energía proveniente de ER.

Proyecto de Ley Especial sobre Producción y Servicios: Propone establecer un impuesto especial del 0.5% a las enajenaciones o importaciones de energía eléctrica, y que los recursos recaudados se destinen al fomento de las ER en la generación de electricidad.

Iniciativa para modificar la Ley Federal de Derechos: Pretende que los combustibles fósiles paguen un derecho en función del Bióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) liberado en su combustión, gravando su consumo, bajo el principio de que "el que contamina paga". Para combustibles líquidos, propone derechos de

0.52¢ a 0.97¢ de peso por litro, y un mayor gravamen para los combustibles sólidos. Para el gas natural propone 19.7¢ de peso por millar de pies cúbicos.

Los ingresos recaudados se destinarían a la promoción de las ER. Esto se operaría a partir de las Normas Oficiales Mexicanas (NOM):

(1) NOM para la protección al medio ambiente durante la construcción, explotación y abandono en el uso de energía eólica (fase de aprobación).

(2) NOM para determinar el rendimiento térmico y funcionalidad de calentadores solares (en vigor).

(3) NOM para calentadores solares, que tiene por objeto establecer los criterios para el aprovechamiento de la energía solar en establecimientos nuevos y remodelaciones en el D.F., que requieran agua caliente para actividades productivas, y establece que al menos 30% del consumo energético anual deberá provenir del sistema de calentamiento basado en el aprovechamiento de la energía solar (en vigor).

Desarrollo de Políticas: Con apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo y la Cooperación Técnica Alemana (GTZ, por sus siglas en alemán) — la SENER realizó estudios de factibilidad para bioetanol y biodiesel en el 2006. Estos estudios servirán como base para el desarrollo de una política mexicana en materia del uso de biocombustibles para el transporte. SENER (37)

### **Instituciones Regulatoras en México**

México utiliza para su desarrollo las fuentes de energía primaria (agua, aire, sol, petróleo, carbón, geotermia, uranio, entre otras).

Para la generación de energía existen instituciones que controlan, regulan y ejercen políticas unilaterales para conceder autorizaciones y concesiones, estas son:

1. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP)
2. La Comisión Reguladora de Energía
3. La Secretaría de Energía
4. La Auditoría Superior de la Federación
5. La Ley de Obras Públicas y
6. La Secretaría de la Función Pública, entre otras

De acuerdo con un especialista crítico de la política energética en México, desde 1982, estas instituciones se han encargado de evitar que el sector energético se desarrolle (Decelis 38). A continuación se sintetizan las críticas de este especialista, que se basan en su experiencia sobre este tema.

La **Secretaría de Hacienda y Crédito Público** controla el presupuesto de Pemex y de CFE y les extrae más recursos de lo que generan.

- La SHCP le quita todo el remanente a Pemex y a CFE y los convierte en deudores. Pemex entre más vende más se endeuda.
- La SHCP dicta que se puede hacer y que no.
- La SHCP impone los precios basados en los costos de oportunidad, que representan el precio más caro que existe en Texas, E.E.U.U. para los energéticos y a este precio Pemex le vende a Pemex y a CFE, elevando artificialmente el costo y provocando que Pemex Refinación y Pemex Petroquímica pierdan en su balance. Por esta situación creada artificialmente, la SChP dice: “Es más barato importar que producir”. Por esta lógica “economista”, el país está paralizado.

La **Comisión Reguladora de Energía** autoriza la instalación de plantas térmicas. En 2007 las plantas térmicas superaron en más de 50% la reserva de energía que se requiere, esto provoca que la CFE tenga que parar plantas y que varias se estén dando de baja.

Dicta los precios de venta de todos los energéticos derivados del petróleo y la electricidad, sin tomar en cuenta el costo de transformación, sólo toma en cuenta los precios de referencia basados en los costos de oportunidad y escoge uno de los más caros del mundo, el de Texas.

La **Secretaría de Energía** carece de un programa energético y es la responsable de la incongruencia que vive este sector, por ejemplo: cancela la producción de combustóleo en la reconfiguración de las refinerías para apoyar el uso del gas natural importa a precio del costo de oportunidad. En cambio, se relega a las plantas hidroeléctricas, las menos contaminantes y cuyo energético, el agua, no tiene costo y es renovable.

La **Auditoría Superior de la Federación** es un obstáculo permanente para dar cumplimiento a la “transparencia” y se convierte en el freno para el buen desarrollo de las empresas energéticas.

La **Ley de Obras Públicas** fue diseñada para evitar corrupciones, es genérica y sirve para cualquier tipo de obras públicas, su control desde la licitación inhibe el desarrollo de la construcción de obras complejas como lo es una refinería, las desviaciones en tiempos y costos, provocando la paralización de la obra.

La **Secretaría de la Función Pública** es la institución que acota la función ejecutiva de los funcionarios públicos, con el afán de evitar la corrupción y se contrapone a las disposiciones de la Ley de Obras Públicas y de la Auditoría Superior de la Federación. Todo esto en conjunto paraliza la función pública y detiene las decisiones y las obras. Decelis (39)



## **REFERENCIAS.**

1. Secretaría de Energía (2009), Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2014, disponible en [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Prospectiva\\_electricidad%20\\_2009-2024.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva_electricidad%20_2009-2024.pdf), consultado el día 24 de febrero del 2010.
2. Ibídem
3. Ibídem
4. Ibídem
5. Secretaria de Energía (2006), Prospectiva del Sector Eléctrico 2005 – 2014, disponible en [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Electrico\\_2005\\_2014.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Electrico_2005_2014.pdf), consultado el día 15 de julio de 2009.
6. Ibídem
7. Ibídem
8. Ibídem
9. Ibídem
10. Secretaría de Energía (2006), Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México, disponible en <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7157/1/ERM06.pdf>, consultado el día 05 de enero del 2010.
11. Teorema Ambiental, Impulsa México carboeléctricas, disponible en <http://www.teorema.com.mx/energia/impulsa-mexico-carboelectricas/>, consultado el 05/02/2010.
12. Comisión Federal de Electricidad (2009), Nucleoeléctricas, disponible en <http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/publicaciones/genElectricidad/Paginas/Nucleoelectricas.aspx>, consultado el 05/02/2010.
13. Secretaría de Energía (2006), Ob. Cit. Ref. 10
14. Secretaria de Energía (2006), Ob. Cit. Ref. 10
15. Secretaria de Energía (2006), Ob. Cit. Ref. 10
16. Secretaria de Energía (2006), Ob. Cit. Ref. 10
17. Centro Mario Molina (2009), Los Biocombustibles en México, disponible en <http://www.centromariomolina.org/imagescont/highlights/PosturaCMM.pdf>, consultado el 26/01/2010.
18. Menéndez, E. (2005) , La crisis de hidrocarburos, Revista Trimestral Latinoamericana y Caribeña de Desarrollo Sustentable No. 12, Vol. 3, disponible en [http://www.revistafuturos.info/futuros\\_12/hidrocarburo5.htm](http://www.revistafuturos.info/futuros_12/hidrocarburo5.htm), consultado el 28/01/10.
19. Ibídem
20. Ibídem
21. Ibídem
22. Ibídem
23. Ibídem
24. Ibídem
25. Ibídem
26. Ibídem
27. Ibídem
28. Ibídem

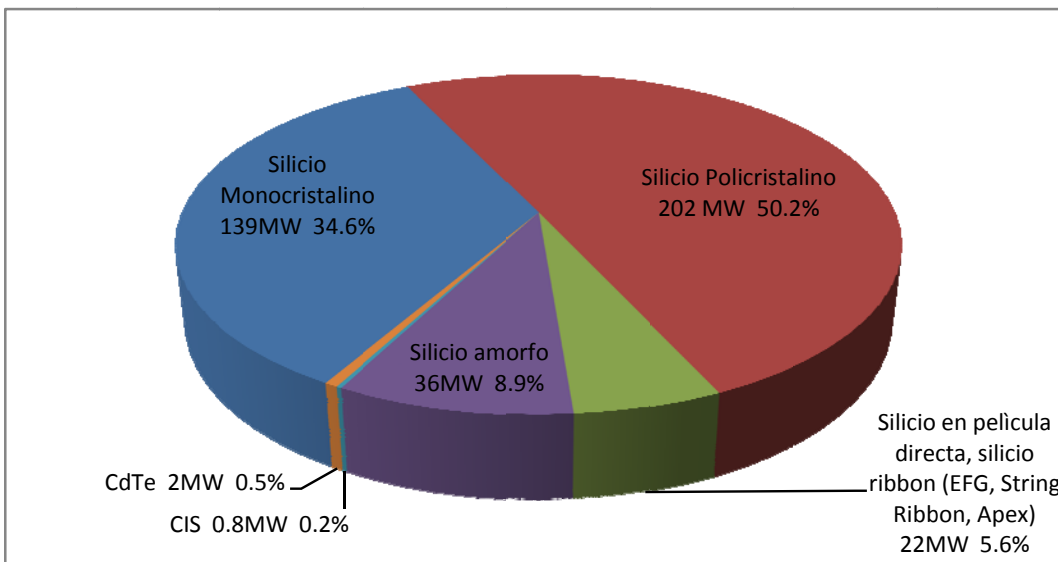
29. Mustafa, Balat (2006), Energy and Greenhouse Gas Emissions: A Global Perspective, Energy Sources, Part B, 1:157-170.
30. Ibidem
31. Ibidem
32. Arjona, J., Torres, M.(2006), Energías Renovables y desarrollo: análisis de la cooperación española, Universidad de Córdoba. ETEA.
33. Secretaría de Energía (2009), Ob. Cit. Ref. 1
34. Stiglitz, J. (2010). *Caida libre - El libre mercado y el hundimiento de la economía mundial-* . Madrid, Taurus, 472 pags.
35. Secretaría de Energía (2006), Ob. Cit. Ref. 10
36. Secretaría de Energía (2006), Ob. Cit. Ref. 10
37. Secretaría de Energía (2006), Ob. Cit. Ref. 10
38. Decelis, Rafael (2008), Creatividad para el Desarrollo – México País Líder 2028, COSTA-AMIC, México D.F.
39. Ibídem

## CAPÍTULO 3. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA BASADO EN CELDAS SOLARES.

### 3.1 Factores Económicos.

Hoy en día la principal materia prima para la fabricación de celdas solares es el silicio cristalino. Las celdas de capa delgada tienen una participación de mercado de sólo 15.2% (figura 18), de las cuales las celdas de silicio amorfo son utilizadas en un 8.9%.

Figura 18. Participación de mercado de materiales en celdas solares, en 2001.



Fuente: DGS (2005)

La tendencia de mercado en 2001, para las celdas de silicio policristalino ha sido de incremento en los últimos dos años de un 42% a 50%, mientras que la tendencia de mercado para las celdas de silicio monocristalino ha caído de un 42% a un 35%. El mercado para el silicio en listón se ha incrementado drásticamente, de un 0.5% en el año 1999 a un 5.6% en 2001.

A largo plazo se estima un incremento en el uso de celdas de película delgada una tecnología ya conocida pero que recientemente ha alcanzado altas eficiencias de conversión (10%) para volúmenes comerciales. El menor uso de material en producción (1% a 5% del silicio cristalino) y los procesos de manufactura más eficientes (50% de reducción en costos que el silicio cristalino) detonarán grandes reducciones en el precio final.

La mayoría de los fabricantes de celdas solares están trabajando en el desarrollo de celdas más delgadas e introduciendo nuevas tecnologías en el campo de cristalización. Se espera en un futuro un incremento en los porcentajes de uso de módulos basado en Cobre Indio Selenio (CIS) y Telurio de cadmio (CdTe). DGS (1)

### **3.1.1 Valor del mercado mundial Fotovoltaico (FV).**

La energía fotovoltaica ha sido un factor de desarrollo para las áreas rurales del mundo donde cerca del 35% de la población – 56% de la población rural - viven sin el beneficio de la electricidad de fuentes tradicionales, dando un total de 2 mil millones de personas o 400 millones de casas. Ahí es donde está la oportunidad de mercado para la industria FV.

Otro de los factores que ha impulsado el crecimiento FV, es la política pública en medio ambiente y desarrollo sustentable. Neutralizar el Cambio Climático es el objetivo global a través del protocolo de Kioto y la separada Estrategia Americana del Cambio Climático. Como resultado de la preocupación medioambiental, estamos observando un mercado en pleno crecimiento en países como Japón, Europa y los mismos Estados Unidos. Luque (2)

En cuanto a la generación de electricidad en base a Energías Renovables (ER), las instalaciones solares FV, continúan siendo la fuente de poder de más rápido crecimiento, con un 70% de incremento, con una capacidad existente de 16 GW en 2008. Esto representa un crecimiento de seis veces respecto a la capacidad global desde 2004. Las instalaciones solares fotovoltaicas (FV) a red (red pública de transporte de electricidad), representaron un estimado de 5.4 GW a nivel mundial en 2008.

España es el país que claramente es el nuevo líder del mercado al tener 2.6 GW de capacidad instalada, representando poco menos de la mitad de las conexiones globales y con un crecimiento de mercado de 5 veces sobre los 550 MW instalados en 2007. Sorprendido al mercado FV a red con este nivel de crecimiento, dejando atrás al anterior líder Alemania con 1.5 GW de capacidad instalada en 2008.

Otros países líderes en 2008 fueron EE. UU. (310 MW instalados), Corea del Sur (200 – 270 MW instalados), Japón (240 MW instalados), e Italia (200 – 300 MW). Los mercados en Australia, China, Francia, Canadá e India continúan en pleno crecimiento.

Nuevos mercados para fuentes FV a red se desarrollaron notablemente en los años 2007/2008, principalmente en China.

El mercado solar FV, mostró tres tendencias básicas en 2008. La primera fue el crecimiento en la construcción-integrada FV (BIPV, por sus siglas en ingles), el cual es un segmento pequeño pero de gran crecimiento en algunos mercados, con más de 25 MW instalados en Europa. Segundo, el crecimiento de tecnologías de película delgada, al crecer la participación de mercado del total de instalaciones. Y tercero el crecimiento de plantas de poder FV instaladas (mayores a 200 kW), sobre todo en el 2008.

Para finales del 2008 a nivel mundial existían 1800 plantas de poder, 800 más que en 2007. Todas estas plantas suministraron 3 GW, el triple de capacidad que en 2007. La mayoría de estas plantas de poder fueron instaladas en

España (cerca de 1.9 GW), y otras instaladas en República Checa, Francia, Alemania, Italia, Corea del Sur y Portugal. REN21 (3)

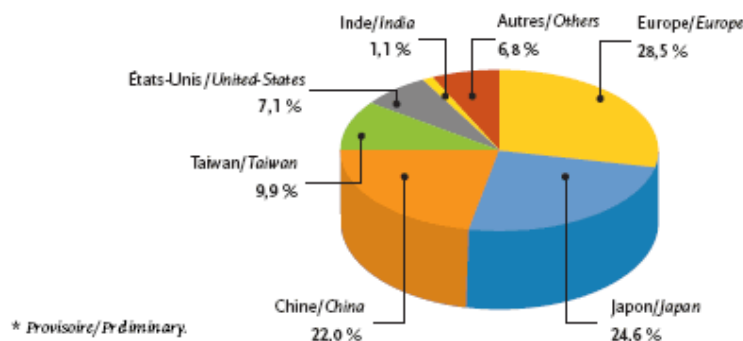
Fig. 19 Instalaciones Solares FV, 2004 – 2008 (MW)

Country	Added 2004	Added 2005	Added 2006	Added 2007	Added 2008	Existing 2005	Existing 2006	Existing 2007	Existing 2008
Germany	600	860	900	1100	1500	1,900	2,800	3,900	5,400
Spain	12	23	100	550	2600	50	150	700	3,300
Japan	270	310	290	240	240	1,200	1,490	1,730	1,970
California	47	55	70	95	150	220	320	480	730
Other USA	10	10	30	65	100				
Other EU	10	40	50	170	400	130	180	350	750
South Korea	3	5	20	60	250	15	35	100	350
Other World	—	>20	>50	>150	>200	>30	>80	>250	>450
Total Added	900	1,300	1,500	2,400	5,400				
Cumulative						3,500	5,100	7,500	12,950

Fuente: REN21, disponible en [http://www.ren21.net/pdf/RE\\_GSR\\_2009\\_Update.pdf](http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2009_Update.pdf)

A nivel mundial Europa y Japón son las dos potencias líderes en la producción de células fotovoltaicas con un 28.5% y un 24.6% respectivamente, seguidas muy de cerca por China (figura 19). Las principales centrales fotovoltaicas del mundo se encuentran dentro de Europa, y más concretamente, en Alemania. CIEMAT (4)

Figura 20. Distribución mundial de la producción de células fotovoltaicas (2007).



Fuente: CIEMAT, disponible en [www.energias-renovables.com](http://www.energias-renovables.com)

En China, tres compañías manufactureras han anunciado planes para expandir la producción de FV en más de 1500 MW para 2008 – 2010 (Nanking CEEG PV Tech, Yingli Solar y Suntech Power).

En India hay ocho manufactureras de celdas y 14 de módulos. El principal productor de FV solares de India, Tata BP Solar, expandió la capacidad de producción de 8 MW en 2001 a 38 MW en 2004 y se inauguró otra línea de producción de 36 MW en marzo de 2007. En Filipinas, Sun Power tiene capacidad para producir 110 MW y está aún en expansión. Solartron, en Tailandia, anunció planes de capacidad de producción de celdas de 20 MW para 2007. A través de la industria, las economías han obtenido ganancias por

las mayores escalas de producción y también por mejoras en el diseño y los procesos, que prometen reducciones de costos aún mayores. Banco Mundial (5)

### **Liberación del comercio de tecnología FV.**

Considerando que las celdas FV representan más de la mitad del costo de un sistema instalado de electricidad solar, el efecto de reducir los aranceles sería significativo en los costos totales. Los aranceles máximos de importación para algunos países examinados (cuadro no. 8) van del 32% al 6%, con la excepción de Kazajstán, que ha liberado totalmente la importación de tecnología FV.

Al compararlos con los promedios de los aranceles industriales, los aranceles aplicados a la tecnología fotovoltaica son mucho más altos en la mayoría de los países. Con fines de comparación se presentan también en el cuadro los promedios aranceles industriales y los promedios de los aranceles en los países de altos ingresos de la OCDE.

Cuadro 8. Aranceles aplicadas a la tecnología fotovoltaica solar en 18 países en desarrollo de altas emisiones de Gases de Invernadero (%).

País	Promedio de arancel a FV	Promedio de aranceles industriales
Egipto	32	13
Bangladesh	25	18
Zambia	30	12
Nigeria	20	27
Argentina	18	12
Brasil	18	14
Malasia	18	9
Colombia	15	12
Indonesia	15	7
India	15	29
Filipinas	15	6
Venezuela	15	12
México	13	17
Sudáfrica	12	8
China	10	10
Tailandia	10	16
Chile	6	6
Kazajstán	0	3
Países de altos ingresos de la OCDE	3	4

Fuente: Banco Mundial (2008), Comercio Internacional y Cambio Climático. Perspectivas económicas legales e institucionales. Banco Mundial, EE.UU.-Ediciones Mayol, Colombia.

En el caso de energías renovables como la eólica y la solar, muchos países en desarrollo tienen aún barreras altas, arancelarias y no arancelarias. A fin de obtener los máximos beneficios de la liberación comercial en las tecnologías de energía limpia, son necesarias reformas e incentivos adicionales. El reciente

desarrollo de tecnologías de energía renovable conectadas por redes, tales como la eólica, de muestra cómo los países han influido en el desarrollo de los mercados de energía limpia a través de los incentivos fiscales y financieros.

Actualmente, en el mundo 49 países han adoptado algún tipo de objetivo de políticas para promover la generación de energía renovable. Quizás la más generalizada de estas políticas sean las llamadas leyes feed-in (obligación legal para las empresas de comprar electricidad proveniente de fuentes renovables).

Inicialmente implementadas por las economías desarrolladas, se aplican ya ampliamente en los mercados emergentes, inclusive en varios estados de Brasil, China, India, Indonesia, Nicaragua, Sri Lanka y Tailandia. Los estándares de portafolio renovable que dirigen las empresas de servicios a derivar una parte de su capacidad generadora total a partir de energía renovable, se han adoptado no sólo en Estados Unidos y Europa, sino también en India y Tailandia.

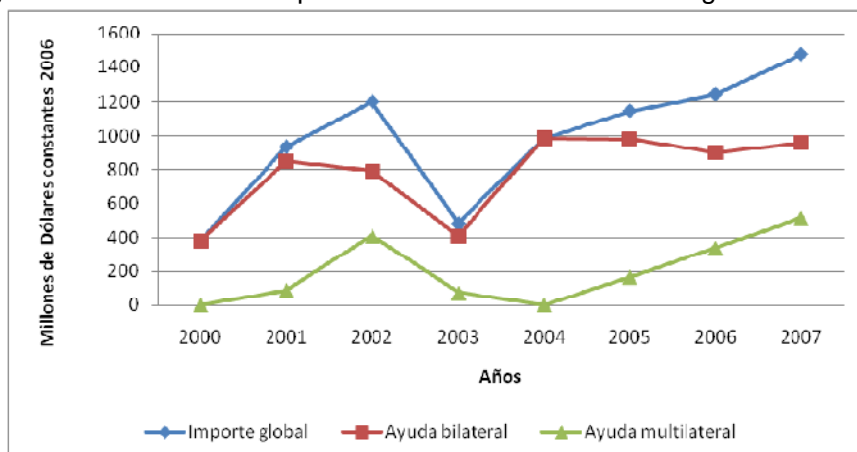
Los incentivos fiscales comúnmente aplicados incluyen: i) exenciones, reducciones o créditos tributarios sobre el impuesto a los ingresos, ofreciendo tratamiento preferencial en ese impuesto a las inversiones en energía renovable; ii) depreciación acelerada, que permite la anulación rápida de las inversiones de capital en equipos de energía renovable y iii) exención de impuesto a las ventas, o derechos de aduana para reducir el costos de las inversiones en energía renovable. Banco Mundial (6)

### **La Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD) en el Sector de Energías Renovables.**

Del análisis de la figura 21, permite comprobar que a partir del año 2003 los importes concedidos a sectores relacionados con las energía renovables ha mantenido una tendencia creciente bastante importante, pero que dicho incremento procede sobre todo de la ayuda multilateral, puesto que la bilateral aunque también ha incrementado respecto de 2003 ha mantenido una línea estable en el entorno de los mil millones de dólares.

Los organismos multilaterales que aportan dicha ayuda, son dos, la Unión Europea y el Banco Mundial. Las políticas que ha establecido la Unión Europea son congruentes con su preocupación y compromiso con amortiguar el cambio climático emprendido en los últimos años, en especial desde que firmó como entidad el Protocolo de Kioto. La Asociación Internacional de Fomento, entidad del Banco Mundial brinda apoyo a los países más pobres y se ha planteado como uno de sus objetivos promover el desarrollo energético sin comprometer la lucha contra el cambio climático.

Figura 21. Evolución del importe mundial de la AOD en energías renovables.



Fuente: Arjona (2007), Energías renovables y desarrollo: análisis de la cooperación española, Universidad de Córdoba ETEA.

Si nos centramos en la ayuda bilateral y tomamos como referencia el año 2007 se puede comprobar que son Alemania y Japón los países que destacan en sobre manera por el importe aportado; España queda en un tercer lugar aunque los ciento treinta millones de dólares que aportó son menos de la mitad de la cantidad que aportaron Alemania y Japón.

Un factor que nos puede indicar el grado de importancia que el apoyo a las energías renovables supone a la política de ayudas de un país es analizar la importancia relativa que supone el volumen de ayuda a dichas energías sobre la ayuda total al sector energía.

Desde el año 2003 la ayuda española a las energías renovables han supuesto una media de cerca del 70% de la ayuda española al sector energía. Sólo Alemania mantiene porcentajes similares al español. Japón con importantes volúmenes de ayuda al desarrollo en el sector energía no destina de forma prioritaria esta ayuda a las energías renovables. Ni que decir tiene el caso de Estados Unidos donde en los últimos años los porcentajes de ayuda destinados a energías renovables dentro del sector energía son irrisorios. Arjona (7)

### 3.2 Factores Técnico-Ambientales.

El sol provee energía en forma de radiación, la cual es la base de toda vida en la tierra. En el centro del sol, la fusión transforma el hidrógeno en helio. Durante este proceso, partes de la masa solar son transformadas en energía. Por lo tanto el sol es un reactor de fusión inmenso.

Por la gran distancia que existe entre la tierra y el sol, sólo una pequeña parte (aproximadamente 2 partes por millón) de la radiación solar alcanza la superficie terrestre. Esto corresponde a una cantidad de energía del orden de  $1 \times 10^{18}$  kWh por año.



Cuantificando la energía solar que alcanza la superficie terrestre está es aproximadamente 1000 veces la demanda actual de energía a nivel global. Por lo que, sólo el 0.01% de la energía solar debería ser utilizada para cubrir los requerimientos de energía de la humanidad. DGS (8)

### **Distribución de la radiación solar.**

La intensidad de la radiación solar fuera de la atmosfera depende de la distancia entre la tierra y el sol. Durante el curso del año esta puede variar entre  $1.47 \times 10^8$  km y  $1.52 \times 10^8$  km. Por lo que la irradiación varía entre  $1325 \text{ W/m}^2$  y  $1412 \text{ W/m}^2$ . El valor promedio,  $G_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ , es llamado la constante solar.

Pero no toda la radiación alcanza la superficie terrestre. El nivel de radiación solar sobre la superficie terrestre alcanza un total de aproximadamente  $1000 \text{ W/m}^2$  bajo buenas condiciones ambientales, a medio día y a nivel del mar.

El total del contenido de radiación solar durante un período de tiempo de un año de radiación global anual, medida en  $\text{kWh/m}^2$ , puede ser calculado. La radiación en algunas regiones cerca del ecuador excede los  $2300 \text{ kWh/m}^2$  por año, mientras que en el sur de Europa no es más de  $1700 \text{ kWh/m}^2$ . En el Reino Unido la radiación varía entre  $640 \text{ kWh/m}^2$  (en las zonas del norte) a  $1200 \text{ kWh/m}^2$ . Locaciones específicas del sur de Estados Unidos y gran parte de Australia reciben del orden de  $2100 \text{ kWh/m}^2$ .

La potencia de la radiación que se recibe del sol sobre la superficie terrestre en condiciones óptimas (días sin nubes e incidencia normal sobre el área de medición) es de aproximadamente  $1 \text{ KW/m}^2$ . A este valor se le conoce como potencia de radiación pico, y es muy importante porque sirve de referencia para determinar la cantidad total de energía promedio recibida.

Supongamos que en un lugar dado se conoce que la energía de radiación solar recibida (en promedio) durante un día determinado es de  $5 \text{ KW-hora/m}^2$ . Esta energía total es el resultado de que la radiación está variando a lo largo del día, pero se mantiene constante durante períodos cortos.

Como la intensidad de radiación pico es de  $1 \text{ KW/m}^2$  podemos ver que la energía mencionada es equivalente a tener 5 horas de radiación pico. En consecuencia se acostumbra a hablar del número promedio de horas pico como una medida de la energía promedio recibida cada día. DGS (9)

En el cuadro 9 se muestran valores promedio de insolación en algunas ciudades de América Latina.

Esto no significa que el sol este presente sólo durante este tiempo, sino que la energía que produce, es equivalente a tener el sol a plena intensidad sobre nuestras cabezas durante ese período. Morales (10)

Cuadro 9. Insolación en algunas ciudades de América Latina.

Ciudad	Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año
Buenos Aires, Argentina	34.6° S	6.5	6.2	5.4	4.7	4.0	3.4	3.7	4.4	5.2	5.7	6.0	6.5	5.2
La Paz, Bolivia	16.5° S	4.5	4.8	5.3	5.3	5.8	6.4	5.2	5.0	6.1	6.3	5.7	5.4	5.5
Sao Paulo, Brasil	23.6° S	4.9	5.1	4.6	4.5	3.9	4.0	3.8	4.0	4.7	5.0	5.1	4.9	4.5
Santiago, Chile	33.5° S	6.9	7.3	6.4	5.4	3.6	3.0	3.3	3.8	4.4	6.1	6.2	7.1	5.3
Bogotá, Colombia	4.6° N	5.4	5.2	4.8	4.3	4.3	4.5	4.6	4.7	4.8	4.1	4.5	4.7	4.7
Quito, Ecuador	0.3° S	5.0	5.0	4.1	4.3	4.1	4.3	4.7	5.7	4.6	4.8	4.8	4.8	4.7
Chihuahua, México	27.8° N	5.8	6.4	6.8	6.9	6.8	6.4	6.4	6.5	6.7	6.8	5.9	5.2	6.4
México, DF	19.3° N	4.9	6.8	7.9	6.0	5.5	4.5	4.6	5.2	5.0	4.8	5.0	5.2	5.5
Puerto Vallarta, México	20.0° N	5.2	5.7	5.9	5.7	5.7	5.4	5.6	5.7	5.5	5.5	5.1	4.7	5.5
Todos Santos, México	23.0° N	5.0	5.4	5.8	5.9	6.2	6.1	5.7	6.1	5.8	5.8	5.2	4.4	5.6
Tuxtla Gutierrez, México	14.5° N	4.4	5.1	4.9	4.5	4.4	4.1	4.4	4.4	4.0	4.2	4.4	4.2	4.4
Veracruz, México	19.2° N	4.4	5.7	6.1	5.7	6.4	6.4	5.3	6.1	6.2	6.3	5.7	5.8	5.9
Huancayo, Perú	12.0° N	7.2	5.8	6.7	6.6	6.3	6.4	6.8	7.1	7.1	7.2	6.9	6.4	6.7
San Juan, Puerto Rico	18.5° N	6.0	6.4	7.0	6.8	6.0	6.4	6.8	6.3	6.3	6.2	5.7	6.0	6.3
San Salvador, El Salvador	13.6° N	6.5	6.8	6.7	6.2	5.7	4.8	5.7	6.6	5.2	6.1	6.5	6.7	6.1
Montevideo, Uruguay	34.9° S	6.8	6.8	6.2	5.3	4.5	3.8	3.8	4.5	5.3	5.9	6.6	6.7	5.5
Barcelona, Venezuela	10.1° S	5.6	6.0	6.0	5.5	5.2	5.6	6.0	5.6	6.0	5.6	5.5	5.5	5.6

<sup>a</sup> Estos datos fueron procesados por el Instituto de Desarrollo Tecnológico del Suroeste (SWTDI) a partir de un modelo de latitud y patrones de nubosidad

Fuente: SWTDI, Energía Fotovoltaica en la Educación a Distancia (2001)

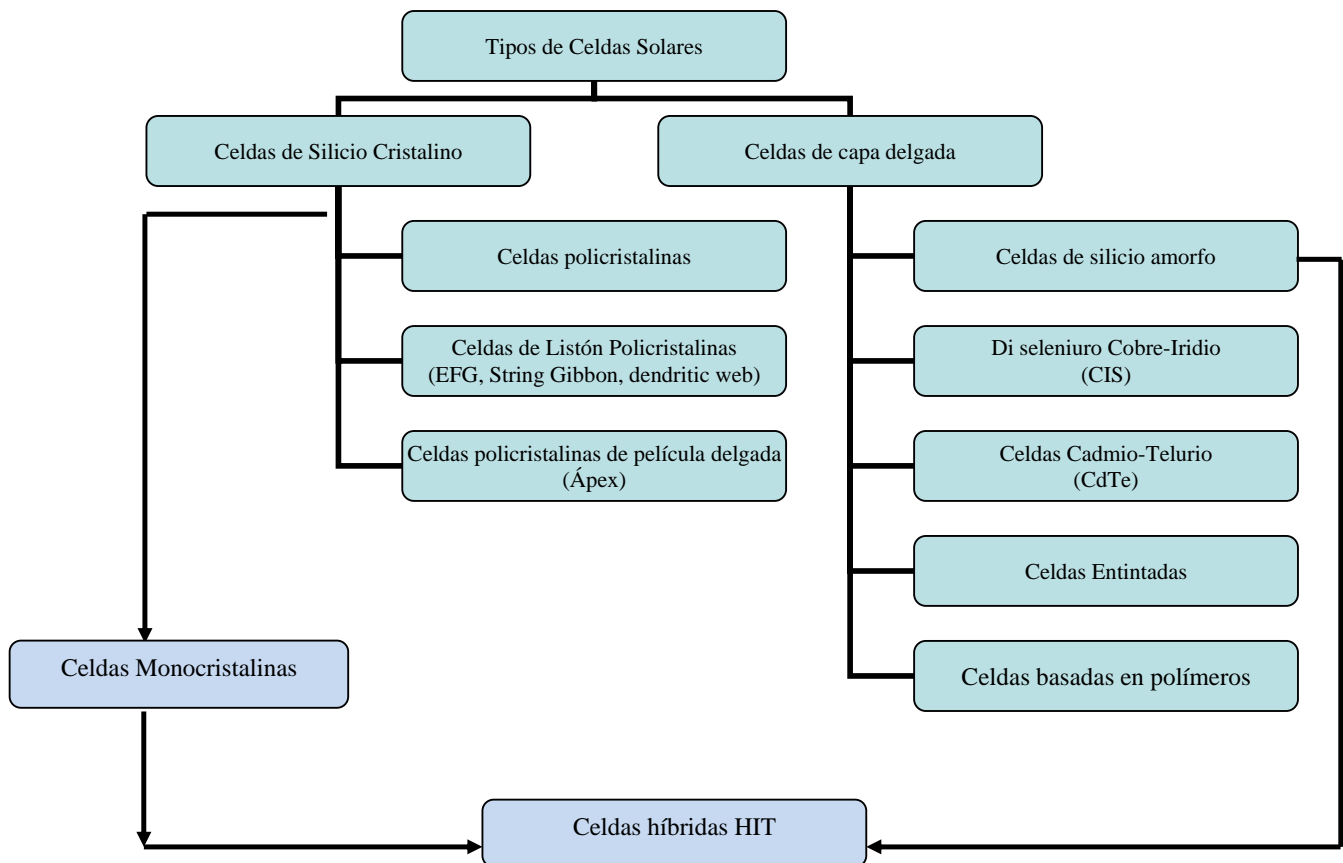
### 3.3 Celdas Solares FV: Efecto y función.

Para aprovechar en forma de energía eléctrica, la energía que nos llega a la tierra en forma de radiación solar, se emplean unos dispositivos llamados celdas solares. El material que se emplea para su fabricación debe ser especialmente sensible a la radiación de la luz solar, ya que el efecto de conversión resulta de la interacción entre los fotones y los átomos que constituyen el material con el que se fabrica.

Con dicho material se construyen las celdas solares. Una celda solar no es más que un diodo con una superficie muy amplia, que puede llegar a decenas de cm<sup>2</sup>. La mayor parte de las celdas solares que se comercializan en la actualidad son de silicio. El silicio es un elemento que se encuentra en todo el mundo, ya que forma la arena (dióxido de silicio, SiO<sub>2</sub>). En su forma más pura, el silicio semiconductor se emplea en la industria de la microelectrónica, donde es base de los microchips. Sánchez (11)

El proceso de fabricación de las celdas solares varía según las cualidades que se quiera obtener (rendimiento, flexibilidad, economía): a más pureza, más altos son los costos. Las celdas solares de silicio pueden constituirse de cristales monocristalinos, y policristalinos o de silicio amorfo. La diferencia entre ellas radica en la forma como están dispuestos los átomos de silicio en la estructura. En la figura 22 se identifican los diferentes tipos de celdas que existen actualmente en el mercado.

Figura 22. Tipos de Celdas Solares.



Fuente: German Solar Energy Society (DGS) (2005). Planning and Installing Photovoltaic Systems.

Existe, además una diferencia en la eficiencia, entendiendo a la eficiencia como el porcentaje de luz solar que es transformado a electricidad. Las celdas solares de silicio mono y policristalino tienen casi el mismo y más alto nivel de eficiencia con respecto a las de silicio amorfo. Sánchez (12)

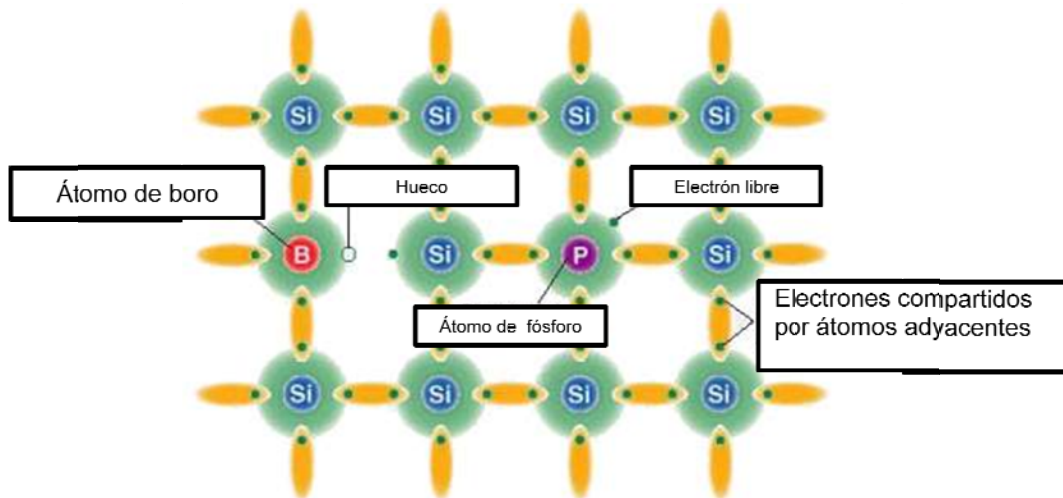
### 3.3.1 Estructura y función de una celda solar de silicio cristalino.

Convencionalmente las celdas solares de silicio cristalino están compuestas de dos diferentes capas de silicio dopado. En las celdas FV de uso terrestre, la capa expuesta a la luz solar está negativamente dopada con fósforo; la capa inferior está positivamente dopada con boro. Un campo eléctrico es entonces producido en la interfase de las capas al existir una separación de cargas generada por la luz solar.

Para producir electricidad, deben añadirse contactos metálicos al frente y a la parte trasera. Generalmente la serigrafía se utiliza para este propósito. Es posible aplicar una capa de contacto sobre toda la superficie con aluminio o

plata en pasta en la parte trasera, La parte frontal, deberá ser lo más traslúcida como sea posible. DGS (13)

Fig. 23 Arreglo de silicio cristalino dopado.



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

Aquí los contactos deberán ser aplicados en forma de un enrejado delgado o en forma de estructura ramificada. La reflexión de la luz puede ser reducida por una deposición de vapor de una película delgada (capa anti-reflectiva) hecha de nitruro de silicio o dióxido de titanio en la parte frontal de la celda solar.

Un campo eléctrico interno causa una separación de cargas eléctricas generadas por la radiación solar, y por consiguiente una corriente eléctrica fluye si una carga es conectada (mostrada en la figura 24 como una bombilla). Pérdidas por recombinación, reflexión y por sombreado de los contactos frontales ocurren en una celda solar. Además, una gran proporción de energía de larga y corta longitud de onda de radiación no puede ser aprovechada.

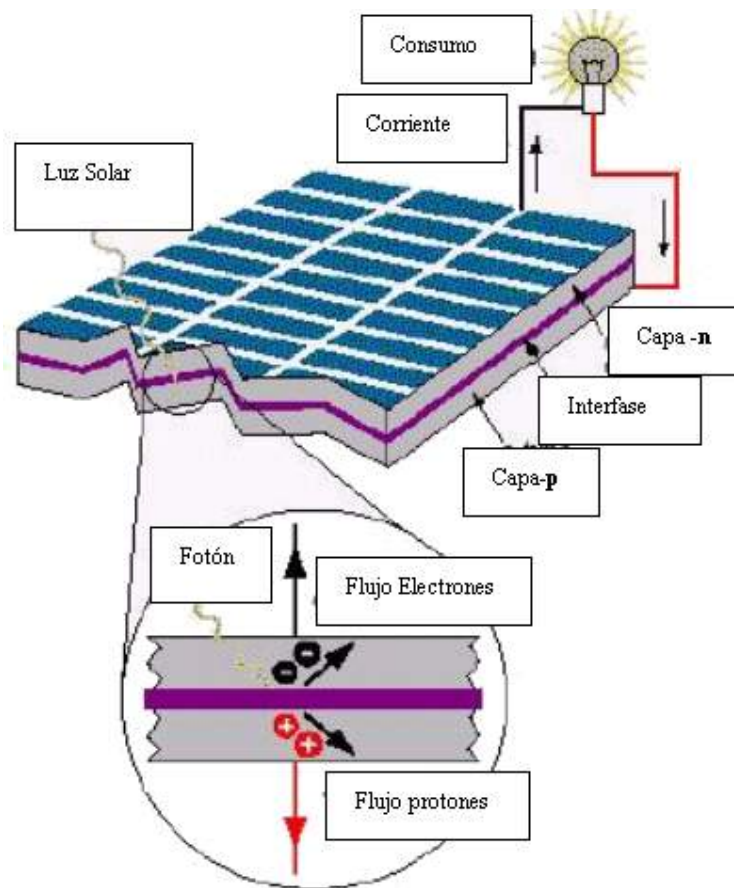
Otra parte de la energía se absorbe y es transformada en calor. Las pérdidas individuales de una celda solar de silicio cristalino son dadas en el siguiente balance de energía (algunas celdas comerciales reducen muchas de estas pérdidas, provocando, un mayor porcentaje de energía eléctrica usable):

Empezando con un 100% de energía solar irradiada:

- (-) 3% es pérdida debida a reflexión y sombreado por contactos frontales
- (-) 23% es pérdida debida a insuficiencia energética de fotones de longitud de onda larga
- (-) 32% es pérdida debida al excedente de energía de fotones de radiación de longitud de onda corta
- (-) 8.5% es pérdida debido a perdidas por recombinación
- (-) 20% es pérdida debido al gradiente de potencial eléctrico de la celda
- (-) 0.5% es pérdida debida a resistencia eléctrica (pérdida por calor)

Resultado: **13% de energía eléctrica usable.** DGS (14)

Figura 24 Funcionamiento de una celda solar.



Fuente: <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>

La energía generada por medio de la conversión fotovoltaica de la radiación solar, conforme a Morales (15), ha encontrado una gran diversidad de aplicaciones, y tiene un gran potencial para sustituir –en el mediano plazo– a los combustibles fósiles como fuente de energía, de forma que no se contamine al medio ambiente.

De acuerdo al autor antes citado, el crecimiento del mercado mundial, seguido del mercado en México, para los sistemas fotovoltaicos en aplicaciones tales como bombeo de agua, educación básica por televisión y radio-telefonía en zonas rurales, iluminación y sistemas de respaldo en casas habitación, etc. ha sido en promedio mayor al 20% anual en los últimos 10 años. Este es un ritmo de crecimiento importante y mayor, incluso, que el observado para la industria microelectrónica.

Para mantener o incluso aumentar la velocidad de crecimiento de esta fuente de energía eléctrica limpia en el futuro, es fundamental la reducción de costos de fabricación de celdas solares y módulos fotovoltaicos. Este objetivo puede lograrse mejorando paulatinamente la relación eficiencia/costo de las celdas solares que constituyen los módulos fotovoltaicos, para lo cual existen diversas estrategias. Por ejemplo, la búsqueda de materiales alternativos que permitan

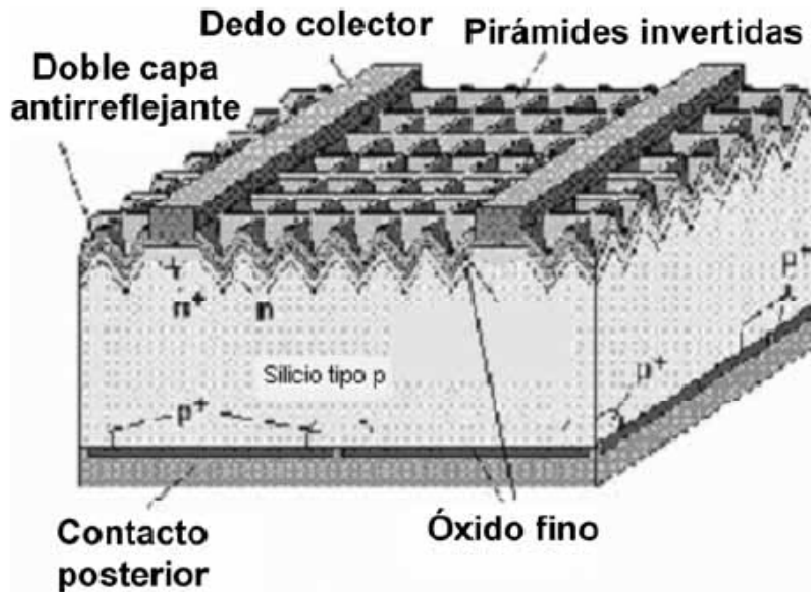
fabricar celdas solares con eficiencias de conversión comparables a las de silicio (mono y policristalino), que es el material más utilizado en la actualidad para celdas solares.

Igualmente, se puede buscar la reducción de los costos de producción de las celdas solares de silicio que se hagan mediante procesos industriales y no en ambientes ultra-limpios de los laboratorios, si es posible aumentando la eficiencia de conversión.

Las celdas solares de silicio cristalino han alcanzado eficiencias record de 24.7% mediante una estructura sofisticada llamada "*Passivated Emmitter and Rear Locally diffused (PERL)*", ilustrada en la figura 25. Morales (16)

Esta estructura, desarrollada en Australia, es importante porque ha mostrado que es posible alcanzar eficiencias de conversión cercanas a la máxima eficiencia teórica (29 - 31%) de foto celdas de silicio bajo luz solar (espectro AM1.5 global normalizado a 1 Kw/m<sup>2</sup>), pero requieren procesos tales como foto-litografía de múltiples niveles, oxidación y difusión de impurezas en laboratorios ultra-limpios (clase micro-electrónica para fabricar circuitos integrados) y obleas de silicio de extrema calidad, de forma que no pueden industrializarse a costos de producción apropiados para su aplicación terrestre.

Figura 25. Estructura de una celda solar de silicio de alta eficiencia.

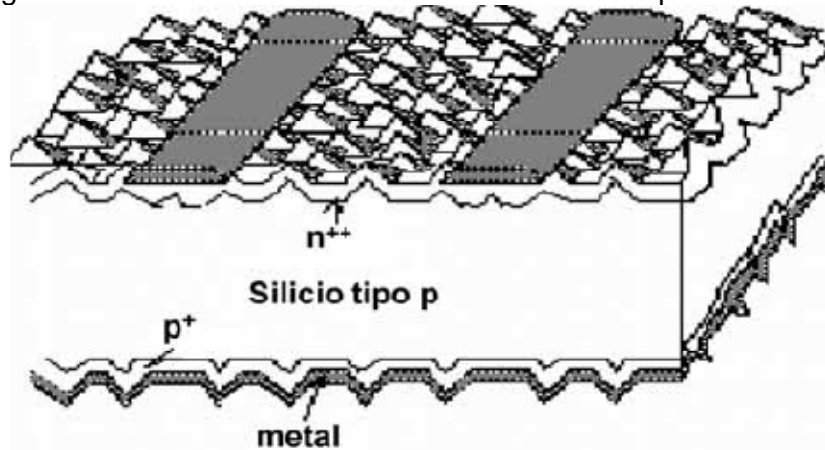


Fuente: Diseño óptimo y realización de celdas solares de silicio para producción industrial. Estado del arte de la investigación en México, Morales A. (2004)

Por otro lado, la industria de celdas solares de silicio fabrica estos dispositivos con tecnología de bajo costo (dedos colectores y contacto posterior obtenidos por serigrafía, texturización superficial por ataque químico, etc.), pero sin incluir conceptos de diseño desarrollados para las celdas de alta eficiencia obtenidas en los laboratorios de investigación.

Estructuralmente las celdas solares de silicio “serigráficas” típicas de la industria moderna de celdas solares se ilustra en la figura 26.

Figura 26. Estructura de una celda solar de silicio tipo “industrial”



Fuente: Diseño óptimo y realización de celdas solares de silicio para producción industrial. Estado del arte de la investigación en México, Morales A. (2004)

A diferencia de las estructuras PERL, no incluyen emisor selectivo optimizado, ni la pasivación de estados de superficie, particularmente en el emisor, además de que la tecnología serigráfica utilizada impone límites para la reducción de las pérdidas, tanto por resistencia serie como por sombreado, debidas a los dedos colectores en el enrejado de las celdas solares. Por ello, la máxima eficiencia en estas celdas “industriales” es de sólo 13% a 15%. Morales (17)

### 3.3.2 Fabricación de Celdas Solares FV Cristalinas.

Actualmente la industria fotovoltaica ha simplificado los procesos de fabricación, por lo que se puede ensamblar largas áreas de celdas solares a bajo costo. En particular los desarrollos han sido en el área de cristalización y rebanado de los lingotes de silicio, simplificado el método de dopado de obleas, e implementado el formado de contactos metálicos. En 1998 el mercado FV terrestre era alrededor de 130 MWp (20 MWp extra correspondientes a tecnología de silicio amorfo), producido en partes iguales por tecnologías de silicio monocristalino y policristalino.

La eficiencia de los módulos comerciales hechos con celdas solares de silicio está entre 10 – 15% (11 – 16% eficiencia de celdas), y es aquí donde existe un gran empuje para desarrollar los procesos de fabricación para incrementar la eficiencia de conversión. La razón de esto es que el balance de costo del sistema, juega un papel muy importante en el costo final de electricidad FV, y muchos de los costos (terreno, estructuras, etc.) son prácticamente los mismos para módulos FV de alta o baja eficiencia. UNESCO (18)

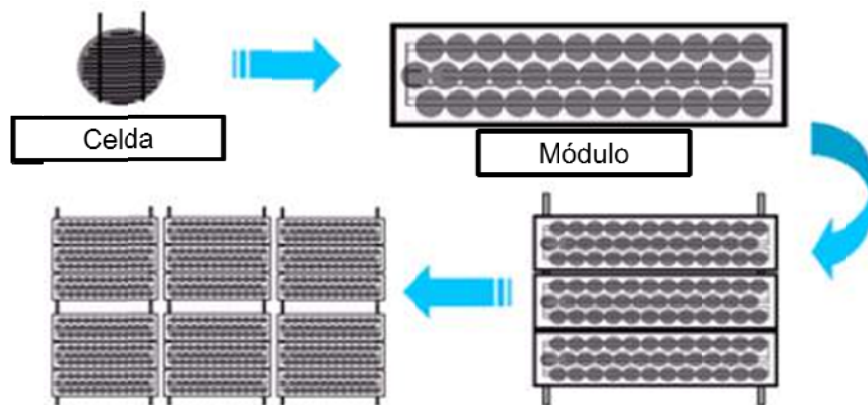
De manera general los diferentes pasos para la fabricación de celdas solares de silicio cristalino y por consiguiente módulos FV son (el paso 1 no corresponde a la industria FV):

1. de la arena a silicio puro
2. de silicio (materia prima) a cristales de silicio y obleas
3. de obleas de silicio a celdas solares
4. de las celdas a los módulos.

Para entender la importancia de las etapas de fabricación, el desglose de los costos de un módulo FV, el cual era de de \$4usd/Wp (2005), debe ser tomado en cuenta. A grandes rasgos el costo de un módulo está dividido en tres partes iguales: 1/3 del silicio como materia prima (obleas), 1/3 en la fabricación de las celdas solares, y 1/3 en el encapsulado y construcción del módulo. Algunos autores inclusive consideran un 50% del costo a las obleas de silicio. Por lo que es claro la importancia de reducir el costo de la obtención del silicio, pero esto no bastará para reducir el costo de electricidad FV.

Considerando el anterior desglose de costos, es posible una estrategia razonable el incrementar los costos de fabricación de las celdas solares desde el punto de vista de incrementar la eficiencia. UNESCO (19)

Figura 27. Etapas de fabricación de un módulo solar.



Fuente: UNESCO

### De la arena al silicio puro.

La fuente de silicio en la tierra es prácticamente inagotable; a pesar de que el silicio puro no se encuentra en la naturaleza, 60% de la corteza terrestre es arena, en su mayoría en forma de cuarzo y dióxido de silicio. El silicio es fabricado en grandes cantidades a nivel mundial (600,000 toneladas), utilizado en la fabricación de aceros especiales y aleaciones.

Este silicio grado metalúrgico (MG-Si) se produce al reducir silicio con carbón en hornos de arco eléctrico. Su pureza es de sólo 98 – 99%, insuficiente para aplicaciones electrónicas, pero tanto como la energía requerida (cerca de 50 kWh/kg) como el costo (cerca de \$2usd/kg en 2007) son relativamente de alto costo.



Industrialmente, el silicio grado metalúrgico se purifica hasta una concentración de impurezas de menos de 0.1ppma (partes por millón, atómico) ó visto de otra forma se obtiene un silicio de 99.99999% de pureza, lo cual lo define como un silicio grado semiconductor. La producción mundial del silicio grado semiconductor es de 20,000 toneladas con un precio aproximado de \$50usd/kg (en 2007). UNESCO (20)

### **Proceso de Fabricación de Celdas de Silicio Policristalino.**

El silicio como materia prima es calentado bajo condiciones de vacío por arriba de los 1500°C y entonces enfriado sobre la base de un crisol, el cual tiene una temperatura de cerca de 800°C. Los bloques de silicio de 400 mm X 400 mm con una altura de 300 mm son creados. Los bloques son entonces rebanados en barras y enseguida en obleas con un espesor de 0.3 mm. Durante el proceso de corte, partes de silicio es perdido como virutas de silicio. Después del dopado con fósforo, la capa inferior de contacto es conectada. Subsecuentemente, las cargas eléctricas son fijadas sobre la parte frontal con una película anti reflexión (AR).

Eficiencia: 13 – 16% (con AR)

Forma: Cuadrada

Dimensiones: 100 mm X 100 mm, 125 mm X 125 mm y 150 mm X 150 mm

Espesor: 0.3 mm

Estructura: Cristales de diversas orientaciones son formados durante el fundido. Los cristales individuales pueden ser fácilmente observados sobre la superficie (estructura de hielo) debido a las diferentes reflexiones de la luz.

Color: azul (con AR), plata grisácea (sin AR)

Fabricantes: BP Solar, Eurosolare, ErSol, GPV, Kyocera, Photowatt, Q-Cells, RWE Schott Solar, Sharp, Shell Solar, Sunways. DGS (21)

### **El silicio grado metalúrgico (Mg-Si) en la actualidad mundial**

Hoy en día, el cuello de botella para la industria FV es la producción de silicio grado metalúrgico (98% de pureza), ya que de ahí proviene la principal materia prima: el silicio policristalino. En 2007 se fabricaron 50,000 toneladas de silicio policristalino, de la cual una porción se ocupó en la industria FV y otra en el área de semiconductores. En 2008 se estima una producción de 71,000 toneladas, y se estiman para 2009, 122,000 toneladas.

Según Sollman (22), para 2012 se espera una creciente industria de silicio policristalino que podría alcanzar las 342,000 toneladas.

Pero la industria FV requerirá un crecimiento anual de 140,000 toneladas de Mg-Si y para 2009 requirió de 490,000 a 580,000 toneladas más que en 2008. Aún en los procesos más eficientes, se requieren de 1.6 a 1.8 toneladas de Mg-Si para producir 1 ton de silicio policristalino de alta pureza, en procesos menos eficientes se requieren hasta 6 toneladas.

A nivel mundial existen 15 grandes productores de Mg-Si, pero existen otros pequeños productores, tan sólo en China existen 2000 productores. La

producción actual es entre 1.7 – 1.9 millones de toneladas anuales. Hasta ahora sólo una pequeña parte se destina a la producción de celdas solares. Cerca del 50% se destina a la fabricación de aluminio y el 40% a la industria química del silicón. La industria FV y la industria de los semiconductores tienen que compartir el restante 10% - cerca de 170,000 a 190,000 toneladas anuales.

De acuerdo a los reportes del Metall Bulletin Ltd., por muchos años, existió una abundancia del Mg-Si, ahora existe una deficiencia, el cual es reflejado en el incremento masivo del precio del mercado del Mg-Si. El precio ha sido doblado en los últimos años, en Septiembre del 2008 el precio por tonelada fue de €2,550 (\$3,200).

Siempre de acuerdo con la fuente antes referida, los precios podrían continuar elevándose. Asumiendo que no existe un exceso en la capacidad de producción del Mg-Si, tan solo la industria FV requerirá una capacidad de producción adicional entre 230,000 – 580,000 toneladas para 2012. Nuevos hornos están construyéndose, estos podrían tener una capacidad de 210,000 toneladas cuando mucho, esto significa entre 20,000 y 370,000 toneladas menos que las predicciones de la industria solar para 2012.

Esto significa que el cuello de botella será inevitable, tarde o temprano. ¿Qué efecto tendría sobre la industria FV? La línea de fondo es: se espera un incremento en la curva de costos, no importa el punto de vista que se analice. Considerando un costo por 1Kg de Mg-Si de €2.55 (\$3.24usd) en 2009, el precio de venta del silicio policristalino es al menos 4 veces más.

La industria FV podría protegerse firmando contratos de suministro de largo plazo, pero la antigua industria química, le lleva ventaja por los mejores contactos.

No se puede predecir como la crisis financiera afectará el mercado para el Mg-Si – demasiados factores están relacionados. Con la baja en la economía es probable un año o dos de baja de presión en los precios y en la disponibilidad. Principalmente por la crisis de la industria automotriz, se tendrá un gran impacto, ya que solamente la industria del automóvil, consume entre el 80 y el 85% de la producción mundial del aluminio. A finales del 2008 los precios del Mg-Si cayeron un poco.

Financieramente, la crisis ha puesto freno a los proyectos de incremento de capacidad para la producción del Mg-Si. Simplemente no habrá capital para fabricar nuevos hornos. Pero alguien podría aprovechar esta crisis financiera como el momento perfecto para hacer este tipo de inversiones.

Una vez que la industria FV escape de éste cuello de botella (Mg-Si), se visualiza un futuro claro, al menos en la parte superior de la cadena de valor agregado. Después de todo existe una abundancia de cuarzo y de carbón. Sollman (23)

### **3.4 Descripción de la tecnología de módulos solares de capa delgada.**

A continuación se describe una comparación de diferentes tipos de celdas solares.

Para sistemas solares conectados en forma de enrejado (aplicaciones en edificios, casas, iluminación en calles), generalmente se utilizan celdas solares de silicio mono y policristalino. La baja eficiencia del silicio policristalino es balanceado por una ventaja en el precio debido a los costos de manufactura.

Módulos fabricados con silicio amorfo han sido predominantemente usados en aplicaciones de conveniencia (calculadoras, equipos para botes, aparatos de uso personal). Recientemente las limitaciones por estabilidad a largo plazo y su comportamiento por envejecimiento han sido infundadas mediante nuevas pruebas, lo cual significa que los módulos de silicio amorfo pueden ya ser utilizados en sistemas más robustos.

Los módulos híbridos (HIT, por sus siglas en inglés), son los que presentan la mejor eficiencia, en comparación de otros módulos comerciales. Los módulos de película delgada fabricados en base a CIS y CdTe ya alcanzaron la etapa de de producción en serie y ya han sido utilizados en diferentes aplicaciones de referencia. DGS (24)

En cuanto a los también llamados semiconductores “III-V” tales como arseniuro de galio (GaAs), los cuales consisten de elementos del grupo III y Grupo IV en la tabla periódica, permiten la producción de celdas solares de alta eficiencia.

Estos materiales aun no son competitivos en precio, por lo que son utilizados para aplicaciones muy específicas, usualmente combinados con compuestos adicionales III-V tales como GaSb (galio antimonio) ó GaInP (galio indio fósforo) para fabricar celdas solares apiladas (tándem). Estas celdas tándem y celdas triples son objeto de nuevos proyectos de investigación en un esfuerzo para obtener nuevos records de eficiencia.

Celdas de tintas orgánicas fotosensibles son nuevas variantes para investigaciones futuras. Por su coloración y transparencia, pueden crear nuevos proyectos de imagen, especialmente en aplicaciones de integración en edificios. En Australia, se han comercializado ya los primero módulos. Los valores máximos de eficiencia de celdas y módulos solares se han resumido en el cuadro no. 10. DGS (25)

#### **Celdas de película delgada.**

Desde los años noventas, el desarrollo de procesos de película delgada para la manufactura de celdas solares ha sido más y más importante. Aquí, los semiconductores fotoactivos son aplicados como película delgada a un sustrato (vidrio en la mayoría de los casos). El método utilizado incluye: depósito en fase vapor, depósito por pulverización catódica y baños electrolíticos. Los materiales semiconductores utilizados son silicio amorfo (a-Si), diselenio de cobre indio (CIS) y telurio de cadmio (CdTe).

Debido a la alta absorción de luz, estos materiales pueden fabricarse en películas de espesor de menos de 0.005 mm, que, son teóricamente más que suficiente para convertir la luz solar. Los materiales son más tolerantes a la contaminación por átomos ajenos. Comparado con las temperaturas de manufactura de arriba de 1000°C para celdas de silicio cristalino, las celdas de película delgada requieren temperaturas de disposición entre 200°C y 500°C solamente.

Cuadro 10. Eficiencias máximas en sistemas fotovoltaicos.

Material (celdas solares)	Eficiencia de celda (laboratorio)	Eficiencia de celda (producción)	Eficiencia de módulo (producción en serie)
Silicio monocristalino	24.7%	18%	14%
Silicio policristalino	19.8%	16%	13%
Silicio en listón	19.7%	14%	13%
Silicio cristalino de película delgada	19.2%	9.5%	7.9%
Silicio amorfo <sup>a</sup>	13%	10.5%	7.5%
Silicio microamorfo <sup>a</sup>	12%	10.7%	9.1%
Híbridas HIT	20.1%	17.3%	15.2%
CIS, CIGS	18.8	14%	10%
Telurio de Cadmio	16.4%	10%	9%
Semiconductores III-V	35.8% <sup>b</sup>	27.4%	27%
Tintas fotosensibles	12%	7%	5% <sup>c</sup>

Fuente: DGS (2005).

<sup>a</sup> en estado estable

<sup>b</sup> medido con concentrador de irradiación

<sup>c</sup> baja producción

Aunado a la menor cantidad de material y bajo consumo de energía, presentan facilidad de fabricación automatizada, con un gran volumen de producción, ofreciendo un potencial considerable para ahorros comparado con tecnología de silicio policristalino. DGS (26)

Las celdas de película delgada no están restringidas en su forma a obleas de tamaño estándar como es el caso de las celdas cristalinas. Teóricamente el sustrato puede ser cortado a cualquier tamaño y ser recubierto con el material semiconductor (figura 28).

Otro punto de diferenciación de las celdas de película delgada respecto a las celdas cristalinas es el tipo de interconexión. Mientras que las celdas solares cristalinas son soldadas celda a celda (interconexión externa), las celdas de película delgada son interconectadas monolíticamente (interconexión interna).

Figura 28. Celda solar de silicio amorfo.



Fuente: COSIRSEGNALETICA, disponible <http://www.cosirsegnaletica.it/immagini/3.jpg>

Dividiendo las celdas eléctricamente e interconectándolas por secciones estructurales que toman lugar entre la etapa de manufactura individual para las capas de la celda, creando ranuras delgadas transparentes entre las celdas individuales.

Para obtener un alto rendimiento de energía, estas ranuras deberán ser tan delgadas como sea posible. Por lo tanto, estas pueden ser usadas como un elemento de diseño y ser de un ancho específico. Entre más ancho sean las ranuras entre las células, mejor es la transparencia. El efecto óptico de semitransparencia puede ser también creado por ranuras perpendiculares adicionales a las franjas de celdas. DGS (27)

El contacto eléctrico es creado en la parte trasera con un recubrimiento metálico opaco metálico. La cara frontal se encarga de recibir la luz, esta acción es completada por una película de óxido metálico conductor y de alta transparencia, el también llamado TCO (transparent conductive oxide, por sus siglas en inglés). Los materiales TCO típicos incluyen el óxido de zinc (ZnO), óxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ) e ITO (indium tin oxide, por sus siglas en inglés).

Con la tecnología de celda delgada, los términos de celdas y módulos utilizados en la tecnología cristalina necesitan ser substituidos por otro término, el módulo en bruto. Aquí una célula consiste de una franja angosta y larga de material semiconductor sobre el substrato. El módulo en bruto se describe entonces como la hoja de vidrio recubierto en su totalidad con diversas franjas de celdas conectadas en fila. Cuando el módulo en bruto es encapsulado con un material compuesto (EVA, etilen vinil acetato) y protegido con una segunda hoja de vidrio, esto se convierte en un módulo listo para usarse.

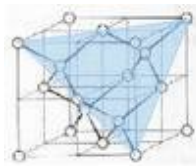
En oposición a la relativa baja eficiencia, el rendimiento energético puede, bajo ciertas condiciones, ser completamente considerable. La utilización de luz baja y difusa es mejor con celdas de película delgada, y estas presentan mejor coeficiente de temperatura – esto es, el decremento de desempeño a altas temperaturas de operación es menor que con otras tecnologías.

Adicionalmente, debido a su forma (franja larga y angosta), las celdas de película delgada, son menos sensibles a bloquearse por la luz solar. DGS (28)

### 3.4.1 Celdas de silicio amorfo (a-Si)

Para comprender de una mejor manera que es el silicio amorfo, es aconsejable comentar acerca de la estructura del silicio cristalino. En términos generales la figura no. 29 muestra la estructura del silicio cristalino. El silicio es típicamente un cristal tipo diamante, sus cuatro átomos posicionados en los vértices de un tetraedro regular, unido covalentemente con el átomo de Si posicionado al centro. El Si tiene una distancia constante de red de 5.431 Å, el arreglo de sus átomos presentan una periodicidad de tres dimensiones.

Figura 29. Estructura del Si cristalino.



Fuente: MITUPV, disponible <http://mitupv.mit.edu/wp/display/3105/3107.wimpy>

En contraste, el Si amorfo, no tiene una periodicidad o simetría cristalina, también es llamado no-cristalino.

En el Si amorfo, los átomos de Si dan la impresión de estar en un completo desorden, pero en forma de un sólido. En general el Si amorfo presenta una regularidad de corto-rango, pero la regularidad de largo-rango no se preserva. Takahashi (29)

El silicio amorfo puede ser producido, en principio, más barato que el silicio policristalino. Con el silicio amorfo, no existe un orden de largo-rango en el arreglo estructural de los átomos, resultando en áreas dentro del material conteniendo uniones insatisfechas o uniones pendientes. Esto resulta en niveles extra de energía en los espacios pendientes, haciendo imposible dopar el semiconductor cuando este es puro, u obtener flujo de corriente de energía en valores razonables en una configuración de celda solar.

Se ha encontrado que la incorporación de hidrógeno atómico en el silicio amorfo, en niveles de 5-10%, satura las uniones pendientes y mejora la calidad del material. Esto también incrementa la banda de energía prohibida ( $E_g$ ) desde 1.1 eV en silicio cristalino a 1.7 eV, generando un material de mayor fuerza de absorción de fotones. El espesor del material requerido para formar una celda solar funcional es por lo tanto mucho menor.

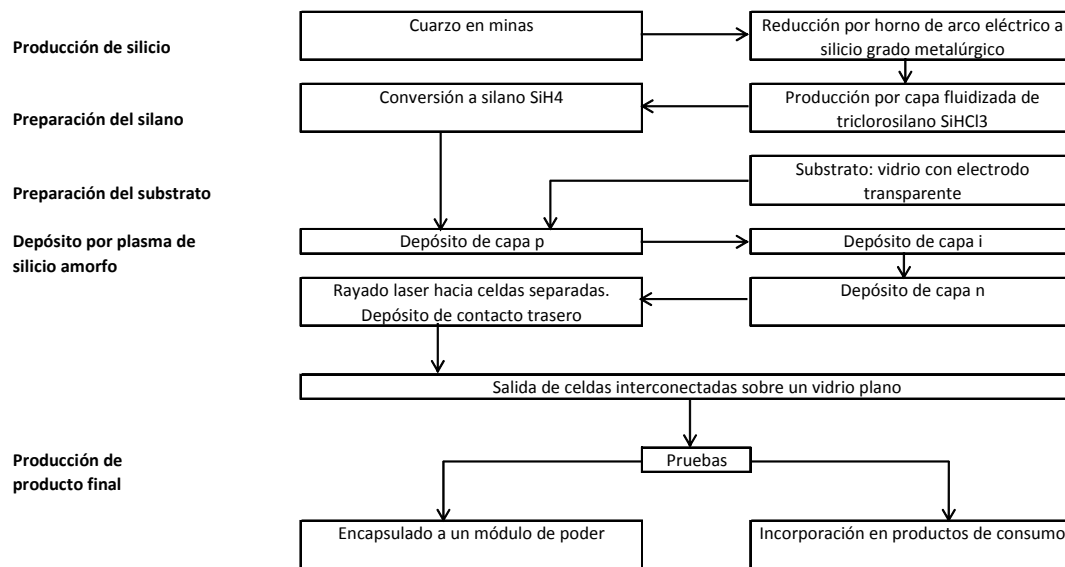
Tanto el silicio amorfo como otras tecnologías para la manufactura de celdas solares donde la película de material semiconductor es muy delgada y depositada sobre vidrio u otros sustratos, son usados en diferentes productos de consumo de pequeñas dimensiones, como calculadoras y relojes,

aplicaciones al aire libre no críticas, en la actualidad se está incrementado para proyectos de gran escala. Wenham (30)

### 3.4.2 Producción de Celdas de a-Si

El silicio amorfo no forma una estructura regular cristalina pero si una red irregular. Como resultado, enlaces sueltos ocurren, las cuales absorben hidrógeno hasta su saturación. Esta hidrogenación del silicio amorfo (a-Si:H) es creada en un reactor de plasma por depósito químico en fase vapor (CVD, por sus siglas en inglés) de gas silano ( $\text{SiH}_4$ ). La temperatura de proceso de 200 – 250°C es suficiente. El dopaje es llevado a cabo al mezclar gases que contienen los materiales correspondientes de dopaje (tales como  $\text{B}_2\text{H}_6$  para el p-dopaje y  $\text{PH}_3$  para el n-dopaje).

Cuadro 11. Producción de módulos fotovoltaicos de silicio amorfo.

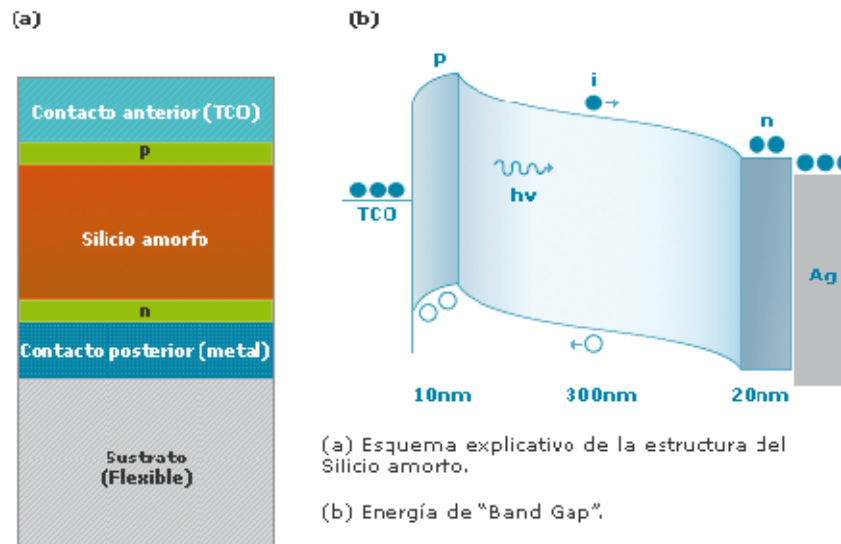


Fuente: Solar Electricity, UNESCO Energy Engineers Series (2004)

Debido a la muy pequeña longitud de difusión del a-Si:H dopado, la carga libre transportada en un empalme directo p-n no sobreviviría lo suficiente para ser capaz de contribuir en la generación de electricidad. Por lo que una capa intrínseca (no dopada) i-capa es aplicada entre las capas n- y p-dopadas, en la cual el tiempo de vida de una carga transportada es substancialmente mayor. Aquí es donde la absorción de luz y la generación de carga ocurren. Las capas p- y n- sólo crean el campo eléctrico que separa la carga liberada transportada (figura 30). DGS (31)

De acuerdo a la fuente citada anteriormente, si las celdas son depositadas en la parte frontal del vidrio, entonces esto crea la estructura característica p-i-n. Alternativamente, estas pueden ser depositadas en una secuencia distinta (n-i-p) en lado reverso. Esto permite crear módulos solares flexibles sobre cualquier sustrato, tales como hojas de metal o plástico.

Figura 30. Esquema de una celda de silicio amorfo.



Fuente: SOLUCAR, disponible en <http://www.solucar.es/corp/export/sites/solar/resources/images/tec24.gif>

La desventaja de las celdas amorfas es su baja eficiencia, la cual disminuye durante los primeros 6 – 12 meses de operación debido a degradación inducida por la luz solar (efecto Staebler-Wronski) antes de llegar a un valor estable. Las celdas solares apiladas o en torre (tándem) fueron desarrolladas para contrarrestar este efecto. En las células tándem, dos estructuras p-i-n son depositadas sobre la parte superior de cada una, y con células triples, tres estructuras p-i-n.

Cada parte de la célula puede ser optimizada por otra banda de color del espectro solar, esto incrementa la eficiencia total. En adición, con las células apiladas el efecto de envejecimiento es reducido ya que las i-capa individuales son más delgadas y por lo tanto menos susceptibles a la degradación por luz solar.

**Eficiencia:** 5 – 8% eficiencia modular (condición estable)

**Forma:** Selección libre

**Tamaño:** Módulo estándar 0.77 m X 2.44 m, módulo especial máx. 2 m X 3m

**Espesor:** 1 – 3 mm de sustrato (vidrio no endurecido, plástico, metal) con aproximadamente 0.001 mm de recubrimiento de silicio amorfo.

**Estructura:** Homogénea

**Color:** rojo – café a negro

**Productores:** Dunasolar, Kaneka, RWE Schott Solar, Sanyo, Solar Cells, Unisolar. DGS (32)



## Requerimientos de materiales para generar 20 GW de Energía Fotovoltaica.

De acuerdo al Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (33), veinte gigawatts de energía fotovoltaica equivalen a 130 kilómetros cuadrados, ó 50 millas cuadradas de módulos fotovoltaicos (FV). Para producir estos módulos se requieren materiales commodity como concreto, vidrio, acero, plásticos y cobre, así como materiales especializados como el silicio purificado, indio, telurio o selenio.

Ésta misma fuente considera que la tecnología de módulos FV del tipo película delgada son tecnologías conocidas y demostradas. Los sistemas presentes otorgan un 10% de eficiencia, se estima que para el 2050 alcancen un 15% y que no existan grandes cambios en el empaque y soportes de los sistemas FV.

De acuerdo con la fuente referida, los materiales commodity no influyen directamente en la generación de energía eléctrica, pero son usados en varias partes de los módulos FV. La mayoría de estos materiales requerirán un ligero incremento en su producción para atender la demanda de los módulos FV. De acuerdo al cuadro 12, el vidrio es el material que tendría que crecer más, aunque un 13% de crecimiento anual será una cantidad no imposible.

Cuadro 12. Materiales Commodity: Cantidades proyectadas Vs. Producción actual.

Material Commodity	Uso en el Sistema FV	Producción Mundial	Materiales Requeridos <sup>b</sup>	% Producción actual	Crecimiento anual requerido <sup>b</sup>
Vidrio	Modulo	4,100 km <sup>2</sup> /año	260 km <sup>2</sup> /año	6.3	0.13%
Plástico	Modulo	40 millones MT/año	65,000 MT/año	0.2	NA
Concreto	Soporte, estructura	1.56 billones MT/año	1.2 millones MT/año	0.1	NA
Acero	Soporte, estructura	850 millones MT/año	1 - 2 millones MT/año	0.1 – 0.2	NA
Aluminio	Soporte, estructura	24 millones MT/año	0.3 - 0.6 millones MT/año	1.3 – 2.5	<0.1%
Cobre	Cableado	14 millones MT/año	40,000 MT/año	0.3	NA

Fuente: The National Renewable Energy Laboratory, U.S. D. E. O. of Energy Efficiency and Renewable Energy (2004), Will we have enough materials for energy-significant PV production?, USA.  
<sup>a</sup>MT = Toneladas Métricas  
<sup>b</sup>Producción requerida para alcanzar una producción de 20 GW/año para el 2050

Los materiales de especialidad son usados en diversos grados, dependiendo de la tecnología FV. Como se muestra en el cuadro 13, algunos materiales requerirán un alto porcentaje de la producción actual.

Cuadro 13. Materiales de especialidad: Cantidades proyectadas Vs. Producción actual.

Tecnología	Material	Producción Mundial <sup>a</sup>	Materiales Requeridos <sup>a</sup>	% de la Producción actual	Crecimiento anual requerido (%)
Silicio Cristalino	Silicio Purificado	25,000 MT/año <sup>b</sup>	130,000 MT/año <sup>b</sup>	520%	3.7% <sup>c</sup>
	Plata	20,000 MT/año	6,000 MT/año	36%	0.53%
Aleación, película delgada Cu(In,Ga)Se <sub>2</sub>	Indio	250 MT/año (subproducto)	400 MT/año	160%	2.0% <sup>d</sup>
	Selenio	2,200 MT/año	800 MT/año	36%	0.6% <sup>e</sup>
	Galio	150 MT/año	70 MT/año	47%	0.9% <sup>f</sup>
Película delgada, Telurio de Cadmio	Telurio	450 MT/año (2,000 MT/año sin uso, subproducto)	933 MT/año	38% (del total, inclusive el no usado)	2.2%
	Cadmio	26,000 MT/año (subproducto)	800 MT/año	3%	0.06%
Película delgada de silicio	Germanio	270 MT/año (3,200 MT/año sin uso, subproducto)	40 MT/año	1% (del total, inclusive el no usado)	0.7%

Fuente: The National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (2004), Will we have enough materials for energy-significant PV production? USA.

<sup>a</sup>Producción requerida para alcanzar una producción de 20 GW/año para el 2050

<sup>b</sup>MT = Toneladas Métricas

<sup>c</sup>El silicio elemental no está restringido por oferta, la producción actual es baja por la baja demanda

<sup>d</sup>El indio es un subproducto del Zinc, él cual ha crecido 3%/anual por 50 años. El Indio sobrepasará la demanda, debido a al crecimiento de la extracción del zinc. La producción del zinc, deberá crecer sólo un 2% para satisfacer la demanda.

<sup>e</sup>El selenio es un subproducto del cobre , un incremento en su extracción del 1.6%/anual mantendría la demanda cubierta.

<sup>f</sup>El galio no está restringido por oferta, la producción actual es baja por la baja demanda.

En virtud de que las condiciones actuales habrían de modificarse en el mediano plazo, a continuación, se presenta una posible respuesta al cuestionamiento: ¿Cuál sería el escenario cercano al 2050, o si se requiere un incremento en la producción anual?

Para las tecnologías de Silicio FV, no habría restricciones en producción. Pero para tecnologías basadas en Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> y CdTe, si se requiriera pasar de 100 GW/año habría restricciones en el incremento de la producción, limitada por la disponibilidad del indio y telurio. Se requeriría un incremento en la extracción del zinc y el cobre y métodos más eficientes de refinamiento para las

menas de telurio e indio. Se desarrollarían fuentes alternas de suministro de tecnología, como la extracción del telurio de los nódulos de manganeso en el lecho marino.

El principal factor a considerar sería el desarrollo en tecnología FV, por ejemplo:

- (1) nuevas celdas con menores espesores a las actuales, probablemente con un factor de 10.
  - (2) los materiales hoy perdidos en la producción de celdas, podrían ser recuperados y reutilizados, y
  - (3) materiales como galio o aluminio podrían ser substituidos por indio.
- NREL (34)

### **3.5 El potencial para los sistemas renovables.**

El objetivo del Protocolo de Kioto es reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. Inclusive para aquellas naciones que no ratificaron el acuerdo existe un compromiso para reducir las emisiones, así como impulsar el desarrollo de tecnologías de energía renovable. En el orden de atender estos objetivos de protección ambiental, dos rutas deben ser tomadas en paralelo, las cuales deberán tener similar importancia:

- El uso de energías renovables deben ser expandidas.
- Todos los potenciales de ahorro de energía deben ser agotados.

Generalmente cualquier país tiene un enorme potencial para utilizar energías renovables. A pesar de que la tecnología fotovoltaica provee menos del 1% como fuente de energía, está tiene un enorme potencial. Por ejemplo: si todos los techos de las casas en Reino Unido fueran cubiertos con paneles FV, la correspondiente generación de energía, podría sobrepasar la demanda nacional actual.

Reino Unido, en su publicación Energy White Paper de Febrero del 2003, se fijó metas de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> por 60% para 2050, y al menos 10% de su electricidad será basada en energías renovables para el 2010 y 20% para el 2020. Los Estados Unidos y Australia han decidido no ratificar el acuerdo de Kioto, pero han mencionado su compromiso de generar electricidad a partir de fuentes FV, en conjunto con su objetivo de reducir su dependencia de los combustibles fósiles. DGS (35)

La economía del sector FV está cambiando, durante las últimas dos décadas, el costo de producción e instalación de materiales FV ha disminuido cerca de un 20% con cada doble incremento de capacidad instalada. En contraste el costo de generar electricidad por medio de fuentes convencionales, ha incrementado con el precio del gas natural, que tiene una gran influencia sobre el precio de la electricidad en regiones que mantienen una gran cantidad de generadores a base de gas natural.

Durante los siguientes tres a siete años, la energía solar subsidiada, tendrá un costo similar a las fuentes tradicionales de electricidad para los usuarios finales en algunas regiones de Estados Unidos (California y el Sureste), y en Italia, Japón y España. Estos mercados tienen en común una relativa alta radiación solar (o insolación), altos precios de energía eléctrica, y un gran soporte de régimen regulatorio que estimula el crecimiento de uso de fuentes FV.

Estas condiciones mantienen en marcha un ciclo virtuoso: la creciente demanda de poder solar crea nuevas oportunidades a las compañías de reducir los precios de fabricación al innovar en diseños de celdas solares y procesos de manufactura, introducir nuevas tecnologías de materiales FV, y aprovechar los bajos precios de los proveedores de materias primas y componentes en competencia por el mercado.

Para el año 2020, al menos 10 regiones con alta insolación, alcanzarán la paridad en costos con la tecnología convencional de electricidad, con la caída en el precio de electricidad solar de 30 centavos de dólar / Kilowatt-hora a 12 o inclusive hasta 10 centavos. Para el 2020, la capacidad solar global instalada crecerá a un ritmo de 30 a 35% anual, para un crecimiento desde 10 gigawatts en 2008 a cerca de 200 a 400 gigawatts se requerirá una inversión de alrededor de \$500 mil millones de dólares.

Este nivel de capacidad solar instalada disminuirá entre 125 a 250 megatoneladas de dióxido de carbono, alrededor del 0.3 al 0.6% de las emisiones globales en 2020. Lorenz (36)

### **Recomendación Ecológica.**

Los sistemas fotovoltaicos no requieren de combustible mientras operan y no liberan emisiones dañinas. Sin embargo, se han generado cuestionamientos sobre el nivel de energía utilizado durante su manufactura, la disponibilidad de materias primas y las posibilidades de reciclaje de módulos, deberán ser atendidos. DGS (37)

### **3.6 Elección de tecnología de estudio.**

Una de las principales razones para el éxito en la generación de energía eléctrica con fuentes renovables y en especial con celdas solares, es la reducción en costos de fabricación, y el factor relevante es el espesor de la película utilizado.

Es por esto que la tecnología de celdas de película delgada es la opción para nuevos mercados en desarrollo como el de Estados Unidos ya que en mercados consolidados como el de Europa y Japón el silicio cristalino ha sido ya por varios años la tecnología principal.

Dentro de la tecnología de película delgada, la que es más viable de producir en serie y de forma automatizada en la actualidad, es la de silicio amorfo respecto a tecnologías como Cobre-indio-galio-selenio (Cu(In,Ga)Se) ó

Telurio de cadmio, que aún presentan limitaciones en el costo de la materia prima y facilidad de acceso.

A pesar de su baja eficiencia actual y su degradación inducida por la luz solar, en la tecnología de silicio amorfo, ha habido desarrollos que le han permitido ya ser considerada para usos más robustos y confiables, como paneles solares para edificios y casa habitación, además que tiene la ventaja de construirse sobre diferentes tipos de soporte (plástico, vidrio, metal) y en diferentes formas, dando ventajas arquitectónicas sobre otras tecnologías.

Por lo cual el estudio de inversión a realizar se basará en la fabricación en serie de módulos solares de silicio amorfo.

## **REFERENCIAS.**

1. German Solar Energy Society (DGS) (2005). Planning and Installing Photovoltaic Systems, London UK, Ed. James & James.
2. Luque, A., Hegedus, S. (2003), Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Ed. Wiley, Chichester, England.
3. REN21 (2009), Renewables Global Status Report (2009 Update), disponible en [http://www.ren21.net/pdf/RE\\_GSR\\_2009\\_Update.pdf](http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2009_Update.pdf), consultado el 07/06/2010.
4. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (2008), Energía fotovoltaica, disponible en [http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/sit\\_actual\\_renovables/fotovoltaica.htm](http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/sit_actual_renovables/fotovoltaica.htm), consultado el 19.04.09.
5. Banco Mundial (2008), Comercio Internacional y Cambio Climático. Perspectivas económicas legales e institucionales. Banco Mundial, EE.UU.-Ediciones Mayol, Colombia.
6. Ibídem.
7. Arjona (2007), Energías renovables y desarrollo: análisis de la cooperación española, Universidad de Córdoba ETEA, España.
8. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
9. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
10. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
11. Morales, A. (2004), Diseño óptimo y realización de celdas solares de silicio para producción industrial. Estado del arte de la investigación en México. Revista Mexicana de Física, México, 50(5).
12. Sánchez, M. (2008), Energía Solar Fotovoltaica, Ed. Limusa. 1ª Edición, México.
13. Ibídem
14. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
15. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
16. Morales, A. (2004), Ob. Cit. Ref. 11
17. Morales, A. (2004), Ob. Cit. Ref. 11
18. Morales, A. (2004), Ob. Cit. Ref. 11
19. UNESCO (2003), Solar Electricity, Chichester, England. Ed. John Wiley & Sons Ltd.
20. Ibidem
21. Ibidem
22. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
23. Sollman, D. (2009), Metallurgical silicon could become a rare commodity, disponible en [http://www.photon-magazine.com/news\\_archiv/details.aspx?cat=News\\_PI&sub=worldwide&pub=4&parent=1555](http://www.photon-magazine.com/news_archiv/details.aspx?cat=News_PI&sub=worldwide&pub=4&parent=1555), consultado el 23 de Abril 2009.
24. Ibídem
25. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1

26. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
27. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
28. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
29. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
30. Takahashi, K., Konagai, M. (1986), Amorphous Silicon Solar Cells, North Oxford Academic Publishers LTD., London, UK.
31. Wenham, S., et. al. (2007) Applied Photovoltaics, Ed. Earthscan, Cornwall, UK.
32. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
33. The National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (2004), Will we have enough materials for energy-significant PV production? USA, disponible en <http://www1.eere.energy.gov/solar/>, consultado el 13 de julio 2009.
34. Ibidem
35. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1
36. Lorenz, P (2008) et. al, "The economics of solar power", disponible en [http://www.masstech.org/renewableenergy/public\\_policy/DG/resources/2008-06-PV-Economics-McKinsey.pdf](http://www.masstech.org/renewableenergy/public_policy/DG/resources/2008-06-PV-Economics-McKinsey.pdf), consultado el 07/06/2010.
37. German Solar Energy Society (DGS) (2005), Ob. Cit. Ref. 1

## **CAPITULO 4. VIABILIDAD DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE CELDAS SOLARES DE SILICIO AMORFO EN MÉXICO.**

### **4.1 Proyectos de Inversión.**

La metodología de evaluación de proyectos de creación de nuevas empresas, se basa en el uso del procedimiento general basado en la recopilación, creación y sistematización de información que permite identificar ideas de negocio y medir cuantitativamente los costos y beneficios de un eventual emprendimiento comercial.

A diferencia de los estudios de proyectos de creación de nuevos negocios, las evaluaciones de proyectos que involucran modificar una situación existente, como las inversiones que las empresas realizan para su modernización, requieren consideraciones muy particulares y procedimientos de trabajo específicos y diferentes.

Cuando se estudia el cambio de una situación vigente, la evaluación debe comparar el beneficio neto entre la situación base (o actual), la situación actual óptima y la situación con proyecto. En otras palabras, se analiza la variación en la creación de valor futuro que tendría optar por una inversión con relación al valor que se podría esperar si se mantiene la situación actual. Una opción que siempre se debe considerar al tomar una decisión es la de mantener las condiciones de funcionalidad vigentes.

La formulación y evaluación de proyectos, tomada como un proceso de generación de información que sirva de apoyo a la actividad gerencial, ha alcanzado un posicionamiento indiscutible entre los instrumentos más empleados en la difícil tarea de enfrentar la toma de decisiones de inversión, tanto para crear nuevas empresas como para modificar una situación existente de una empresa en marcha, ya sea mediante la subcontratación de actividades que realiza internamente, la ampliación de sus niveles de operación o el reemplazo de su tecnología, entre otros tipos de proyectos.

Durante la evaluación de un proyecto nuevo, todos los costos y beneficios deben ser considerados en el análisis, en la evaluación de proyectos de modernización sólo deben incluirse aquellos que son relevantes para la comparación. Un costo o beneficio es relevante si es pertinente para una decisión.

El único costo que no debe ser considerado en la evaluación de un proyecto de creación de un nuevo negocio, es el del estudio de viabilidad, aunque al momento de presentar el proyecto no éste pagado, es un costo que, haciéndose o no la inversión, igualmente debe asumir. Por este motivo, se considera irrelevante para la decisión. Nassir (1)

Tipologías de proyectos.

Las opciones de inversión se pueden clasificar preliminarmente en dependientes, independientes y mutuamente excluyentes. Inversiones



dependientes son aquellas que para ser realizadas requieren otra inversión. En este caso, se hablará de proyectos complementarios y la más común será evaluarlos en conjunto.

Un caso particular de proyectos dependientes es el relacionado con proyectos cuyo grado de dependencia se da más por razones económicas que físicas, es decir, cuando se realizan dos inversiones juntas ocasiona un efecto sinérgico en la rentabilidad, en el sentido de que el resultado combinado es mayor que la suma de los resultados individuales. El caso contrario, se produce cuando la realización de dos proyectos simultáneos hace obtener un resultado inferior que la suma de las rentabilidades individuales.

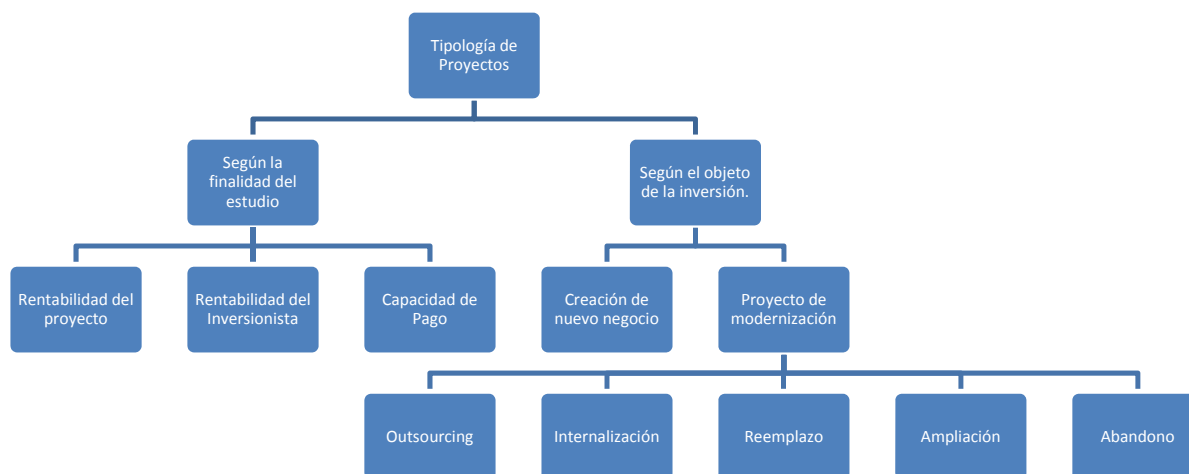
Inversiones independientes son las que se pueden realizar sin depender ni afectar o ser afectadas por otros proyectos. Dos proyectos independientes pueden conducir a la decisión de hacer ambos, ninguno o sólo uno de ellos. Inversiones mutuamente excluyentes, como su nombre lo indica, corresponden a proyectos opcionales, donde aceptar uno impide que se haga el otro o lo hace innecesario.

Cada uno de los casos anteriores puede clasificarse, también, en función de su fuente de financiamiento, distinguiéndose entre aquellos financiados con leasing, los financiados por endeudamiento –ya sea con el sistema financiero o con proveedores, los financiados con recursos propios y los financiados con una combinación de fuentes.

Los proyectos también se pueden clasificar en función de la finalidad de estudio, es decir, de acuerdo con lo que se espera medir con su realización. En este contexto es posible identificar tres tipos de proyectos que obligan a conocer tres formas diferentes de construir los flujos de caja para lograr el resultado deseado:

- a. estudios para medir la rentabilidad de la inversión, independientemente de donde provengan los fondos;
- b. estudios para medir la rentabilidad de los recursos propios invertidos en el proyecto; y
- c. estudios para medir la capacidad del propio proyecto para enfrentar los compromisos de pago asumidos en un eventual endeudamiento para su realización.

Figura 31. Tipología de proyectos.



Fuente: Sapag, Nassir (2007), *Proyectos de Inversión. Formulación y evaluación*, México, Pearson.

### **Etapas de un proyecto.**

De acuerdo con el autor antes citado, en general se identifican cuatro etapas básicas: la generación de la idea, los estudios de pre-inversión para medir la conveniencia económica de llevar a cabo la idea, la inversión para la implementación del proyecto y la puesta en marcha y operación. También se pueden realizar evaluaciones ex -post de proyectos, con el propósito de evaluar los resultados de un proyecto en operación.

Al estudiar la rentabilidad de una inversión se busca determinar, con la mayor precisión posible, la cuantía de las inversiones, costos y beneficios de un proyecto para posteriormente compararlos y determinar la conveniencia de emprenderlo. La primera etapa se conoce como la formulación y preparación de proyecto, donde la formulación corresponde al proceso de definición o configuración del proyecto, mientras que la preparación es el proceso de cálculo y estructuración de los costos, inversiones y beneficios de la opción configurada. La segunda etapa corresponde a la evaluación del proyecto.

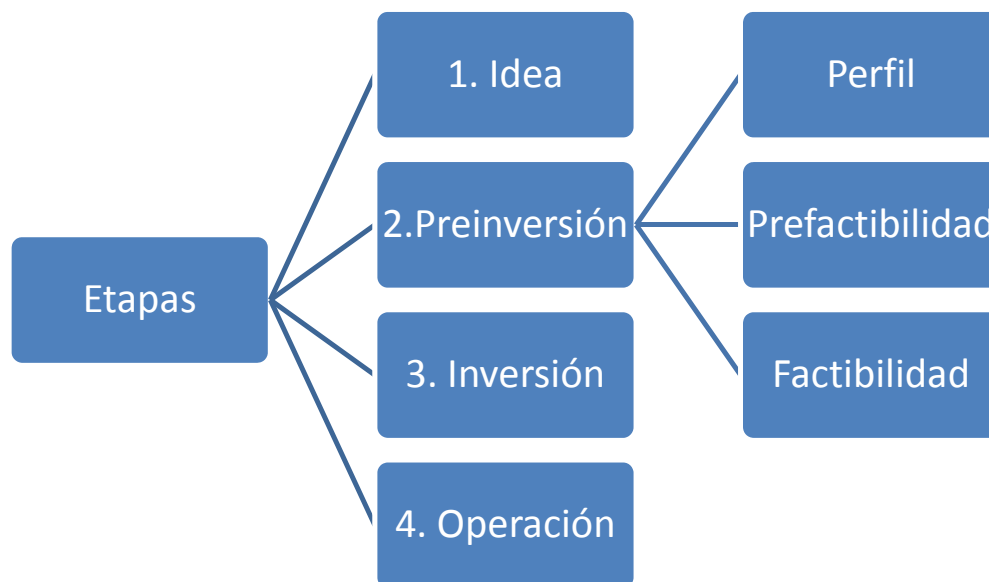
Durante la preparación de un proyecto, se busca cuantificar los comportamientos más probables de ingresos y egresos. Sin embargo muchas veces el proyecto no está configurado en forma completa y debe ser formulado previamente. Por ejemplo, si la localización no está definida, deberá estudiarse cuál de las opciones identificadas para la ubicación del proyecto es la más adecuada; si conviene alquilar o comprar las oficinas administrativas; si es

mejor comprar una tecnología de bajo costo que dura pocos años o una más cara que debe reemplazarse en un tiempo mayor; si el transporte se debe hacer con vehículos propios o contratando el servicio de flete, etc.

Las inversiones de un proyecto se pueden clasificar en dos grandes tipos: aquellas que se realizarán antes de la implementación del proyecto y las que se realizarán durante su operación.

Inversiones que se realizan antes de la implementación del proyecto dan origen a lo que se denomina calendario de inversiones, el cual refleja detalladamente, en un presupuesto, la totalidad de las inversiones previas a la puesta en marcha del proyecto, en el momento que ocurre cada una de ellas. El objeto de identificarlas en el momento más exacto en que ocurren es el de poder incorporar el efecto de costo de capital que se debe asumir por mantener inmovilizados recursos durante la etapa de construcción.

Figura 32. Etapas de un proyecto.



Fuente: Sapag, Nassir, (2007), *Proyectos de Inversión. Formulación y evaluación*, Pearson, México.

### **Etapas a desarrollar en el proyecto.**

En este trabajo de tesis, las etapas que se llevarán a cabo son las de: generación de la idea y estudios de pre-inversión para medir la conveniencia económica.

Una vez configurado el proyecto, se estudian en forma detallada los costos y beneficios asociados a cada una de las variables seleccionadas, que deberán ser lo suficientemente profundizados para cumplir con los niveles de calidad exigidos a la información en un estudio de pre-factibilidad o de factibilidad. El resultado de la preparación de un proyecto es la construcción de un flujo de

caja con la proyección en el tiempo de la estimación de la ocurrencia de los costos y beneficios vinculados a su implementación.

Por su cuantía y significación en los resultados de la evaluación, las inversiones son uno de los puntos que requiere la mayor dedicación a su estimación.

Costo de capital es la tasa de retorno que, como mínimo, se le exige generar a la inversión requerida por el proyecto y que equivale a la rentabilidad esperada, a la que se renuncia por invertir en un proyecto económico de riesgo similar. Nassir (2)

#### **4.2 Localización óptima de un negocio.**

La localización óptima de un negocio es aquella en la que se logra una mayor rentabilidad sobre el capital (criterio privado) y obtener un costo unitario mínimo (criterio social).

Un método elemental de medición consiste en asignar un grado de importancia a ventajas y desventajas de los casos en evaluación.

Esto requiere generar una lista de factores. Asignar un valor específico a cada factor. La suma de los factores debe ser igual a uno.

Asignar una escala común a cada factor (por ejemplo 0 a 10) y elegir cualquier mínimo. Calificar cada sitio potencial de acuerdo con la escala designada y multiplicar la calificación por el valor correspondiente a cada factor. Sumar la puntuación de cada sitio y elegir el de máxima puntuación.

A su vez podemos utilizar datos del tipo cuantitativos y cualitativos como los que presenta el reporte Doing Business en México (Banco Mundial y Corporación Financiera Internacional) (3), los cuales permiten generar áreas de oportunidad para que cualquier gobierno de cada entidad estatal proponga las reformas necesarias para hacer más competitiva su región, a continuación se anexan algunos cuadros informativos que se utilizarán como referencia.

**Cuadro 14.**  
**Doing Business en México: ¿dónde es más fácil hacer negocios?**

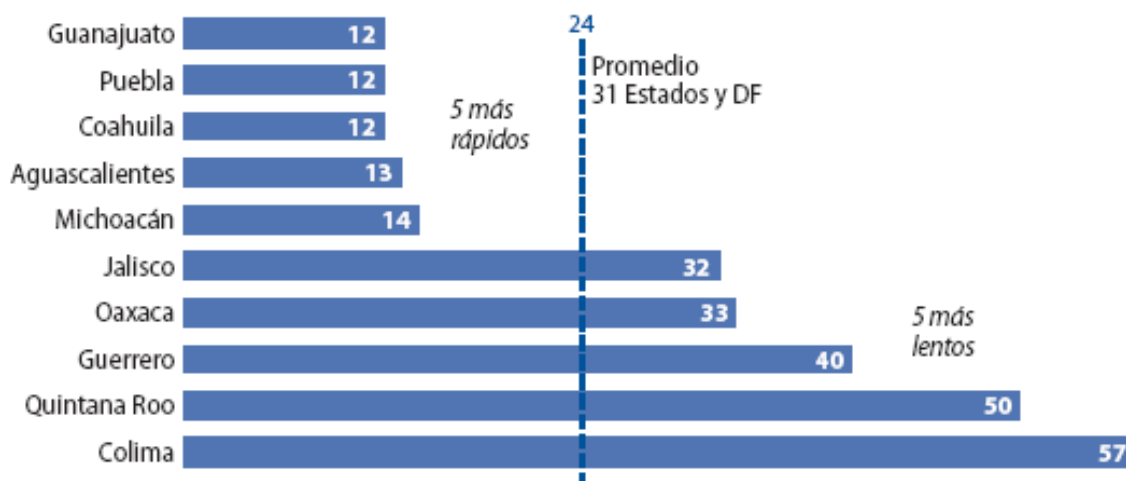
1 Aguascalientes ( <i>Aguascalientes</i> )	12 Nuevo León ( <i>Monterrey</i> )	23 Tlaxcala ( <i>Tlaxcala</i> )
2 Chiapas ( <i>Tuxtla Gutiérrez</i> )	13 Sonora ( <i>Hermosillo</i> )	24 Veracruz ( <i>Coatzacoalcos</i> )
3 Zacatecas ( <i>Zacatecas</i> )	14 Michoacán ( <i>Morelia</i> )	25 Guerrero ( <i>Acapulco</i> )
4 San Luis Potosí ( <i>San Luis Potosí</i> )	15 Nayarit ( <i>Tepic</i> )	26 Yucatán ( <i>Mérida</i> )
5 Sinaloa ( <i>Culiacán</i> )	16 Hidalgo ( <i>Pachuca de Soto</i> )	27 Baja California ( <i>Tijuana</i> )
6 Colima ( <i>Colima</i> )	17 Querétaro ( <i>Querétaro</i> )	28 Estado de México ( <i>Tlalnequanta de Baz</i> )
7 Campeche ( <i>Campeche</i> )	18 Durango ( <i>Durango</i> )	29 Jalisco ( <i>Guadalajara</i> )
8 Tabasco ( <i>Centro Villahermosa</i> )	19 Puebla ( <i>Puebla</i> )	30 Morelos ( <i>Cuernavaca</i> )
9 Guanajuato ( <i>Celaya</i> )	20 Oaxaca ( <i>Salina Cruz</i> )	31 Baja California Sur ( <i>La Paz</i> )
10 Coahuila ( <i>Torreón</i> )	21 Tamaulipas ( <i>Mataramoros</i> )	32 Distrito Federal
11 Chihuahua ( <i>Cd. Juárez</i> )	22 Quintana Roo ( <i>Benito Juárez/Cancún</i> )	

Fuente: base de datos de Doing Business.

Fuente: Doing Business en México 2009.

En el cuadro anterior se ordenen las entidades federativas en función de la facilidad para hacer negocios de acuerdo con la fuente antes mencionada. De acuerdo al Doing Business en México 2009 (4) en el siguiente figura no. 33 se comparan las entidades federativas de acuerdo a la rapidez en la apertura de una nueva empresa.

**Figura 33.**  
**Coahuila, Guanajuato y Puebla son los estados más rápidos en la apertura de una empresa (días)**



Fuente: Doing Business en México 2009.

En cuanto a la situación legal, y de acuerdo con la fuente antes mencionada, en el siguiente cuadro no.15 se comparan las entidades federativas.

**Cuadro 15.**  
**¿Dónde es fácil hacer cumplir los contratos y dónde no lo es?**

---

1	Zacatecas (más fácil)	11	Michoacán	23	Tamaulipas
2	Sinaloa	11	Querétaro	24	Estado de México
3	Colima	11	Guerrero	25	Puebla
4	Chihuahua	11	Oaxaca	26	Baja California
5	Coahuila	16	Nayarit	27	Quintana Roo
6	Aguascalientes	17	Tabasco	28	Morelos
7	Durango	18	Sonora	29	Yucatán
8	Jalisco	19	Chiapas	30	Distrito Federal
9	San Luis Potosí	20	Guanajuato	31	Tlaxcala
10	Hidalgo	21	Nuevo León	32	Baja California Sur (más difícil)
11	Campeche	22	Veraacruz		

Fuente: Doing Business en México 2009.

#### **4.2.1. Localización óptima del proyecto.**

Para el caso del proyecto de inversión de una planta de celdas de silicio amorfo se consideran como candidatos tres estados de la República Mexicana, Aguascalientes, Hidalgo y Jalisco, bajo las siguientes consideraciones:

- ❖ Los mercados meta inmediatos para el proyecto es el mercado emergente de fuentes de energía renovables en los Estados Unidos y el mercado ya establecido de la Unión Europea.
- ❖ En un futuro, el mercado local podría ser considerado de acuerdo a los subsidios gubernamentales sobre el sector de ER y los altos precios de fuentes tradicionales de generación eléctrica.
- ❖ El proveedor principal de materia prima, esto es gases como silano y fosfina, se encuentra en el Estado de México.
- ❖ Se requiere de personal calificado para los mandos medios, así como un buen nivel de infraestructura industrial en el área.
- ❖ Se tomará en cuenta la facilidad de apertura de nuevos negocios, así como los beneficios fiscales y costos de inversión inicial en la infraestructura.
- ❖ En especial, el estado de Jalisco cuenta con buena experiencia en el mercado electrónico.
- ❖ El estado de Aguascalientes, es el estado en donde con mayor facilidad se pueden desarrollar nuevos negocios y poner en operación una nueva empresa.
- ❖ El estado de Hidalgo cuenta en los últimos años con una buena infraestructura carretera (Arco Norte), cercanía al mercado potencial nacional y por el plan de construcción de la nueva refinería de Pemex en

Tula, y las industrias relacionadas, se podría considerar como área susceptible a recibir nuevas inversiones.

Cuadro 16. Comparación de las 3 entidades propuestas en relación a obtención de permisos de construcción y cumplimiento de contratos.

	Obtención de permisos de construcción				Cumplimiento de contratos			
	Facilidad para obtener permisos de construcción (clasificación)	Trámites (número)	Tiempo (días)	Costo (% del IIB per cápita)	Facilidad para hacer cumplir los contratos (clasificación)	Procedimientos (número)	Tiempo (días)	Costo (% de la demanda)
Aguascalientes <i>Aguascalientes</i>	1	10	41	24.7	6	38	327	20.6
Hidalgo <i>Pachuca de Soto</i>	15	11	114	62.7	10	38	330	24.0
Jalisco <i>Guadalajara</i>	29	15	79	177.9	8	37	360	26.6

Fuente: Doing Business en México 2009.

A continuación se enuncian los factores y su valor asignado, que se tomaron en cuenta para determinar la localización óptima:

Factor	Denominación	Valor asignado
1	Cercanía a mercado objetivo	0.13
2	Disponibilidad de materia prima	0.15
3	Infraestructura industrial	0.20
4	Escolaridad de la mano de obra	0.15
5	Costo nave industrial (m <sup>2</sup> )	0.17
6	Estímulos fiscales	0.20
	Total	1

#### Ponderación

Factor	Valor	Calificación			Calificación Ponderada		
		Jalisco	Aguascalientes	Hidalgo	Jalisco	Aguascalientes	Hidalgo
1	0.13	9	9	8	1.17	1.17	1.04
2	0.15	8	8	9	1.2	1.2	1.35
3	0.20	9	8	8	1.8	1.6	1.6
4	0.15	9	8	8	1.35	1.2	1.2
5	0.17	7	8	9	1.19	1.36	1.53
6	0.20	7	9	9	1.14	1.8	1.8
	1.0		Total		7.85	8.33	8.52

Por lo que el estado elegido para la localización del proyecto es Hidalgo y en especial la región industrial de Atitalaquia.

## **A continuación se presentan las características socioeconómicas más relevantes para el proyecto en el Estado de Hidalgo.**

### **Empleo y Competitividad**

En el tercer trimestre de 2007 el mercado laboral registró una Población Económicamente Activa (PEA) estimada en 941,984 personas, lo que representa una participación relativa del 39.3% del total de la población hidalguense. De este total, 910 mil 364 son personas ocupadas, de las que el 24.9% trabajan en el sector primario, el 24.2% en el secundario y el 50.9% en el sector terciario. Es decir, las principales actividades en que se ocupa la población corresponden a los sectores comercio y servicios; para el mismo periodo, la tasa de desempleo abierto fue de 3.4%, 5 décimas porcentuales por debajo de la registrada en el país.

El Foro Económico Mundial estima que México ocupa el lugar 52 en materia de competitividad respecto de 131 naciones evaluadas. Otro estudio elaborado por el Banco Mundial, considera que Hidalgo es la décimo quinta mejor entidad federativa del país para hacer negocios.

Con relación a la atracción de inversión productiva generadora de empleo, la política aplicada en la entidad se conduce hacia el fortalecimiento de los factores determinantes para su promoción, como el impulso al desarrollo de la planta productiva ya instalada, el acceso al financiamiento y el ambiente de negocios que se promueve para incentivarla, elementos vinculados directamente en la forma en que los sectores privado y gubernamental se comunican, interactúan e influyen en la creación de condiciones propicias para la conducción de la economía. Gobierno del Estado de Hidalgo (5)

### **Industria**

En 2009, se registraron 16 zonas destinadas para el desarrollo industrial, mismas que pueden incrementarse derivado de importantes acciones emprendidas en el estado encaminadas a detonar el desarrollo de la infraestructura industrial que en los tres años recientes ya han generado resultados concretos, que se reflejan en el ánimo de los inversionistas que ven en Hidalgo un lugar seguro y sustentable para establecer sus empresas.

La ventaja que brindan factores como la conectividad carretera, la sustentabilidad de insumos para la planta industrial y la certeza jurídica de un pleno Estado de Derecho, consolidan a los parques industriales de Hidalgo como una alternativa altamente competitiva en el centro del país. La planeación con visión a largo plazo es un factor fundamental para el Gobierno de Hidalgo, por lo que es una prioridad asegurar el suministro de insumos primordiales para la industria. Gobierno del Estado de Hidalgo (6)



Figura 34. Localización del estado de Hidalgo.



Fuente: <http://www.map-of-mexico.co.uk/espanola/imagenes/hidalgo.gif>

Hidalgo se posiciona así como punto de referencia para la logística y la distribución de la Zona Metropolitana del Valle de México. Con más de 800 kilómetros de infraestructura ferroviaria y la integración a los ejes carreteros de conectividad nacional, se agrega valor a los parques industriales establecidos en la entidad propiciando un entorno competitivo para potenciar las inversiones.

En este sentido, Hidalgo se encuentra entre los diez estados mejor comunicados del país, en cuanto a vías férreas y conectividad carretera se refiere, uniendo al Golfo con el Pacífico y al Sureste con el Norte, además de ser una puerta al mercado más grande de Latinoamérica, que es el valle de México. Gobierno del Estado de Hidalgo (7)

### **Fomento a la Inversión Productiva.**

En 1999 la región centro del país (Distrito Federal, Estado de México, Puebla, Morelos, Tlaxcala e Hidalgo) captó el 59% de la inversión extranjera directa que recibió el país, mientras que en el 2006 fue el 59.9%; años en los que Hidalgo aumentó su participación de manera significativa. Conforme a estadísticas de la Secretaría de Economía, la inversión extranjera en la entidad durante el periodo 1999-septiembre 2007, ascendió a 84 millones 400 mil dólares.

Del importe total de \$9,558,954,000.0 pesos registrados a través del Programa de Capacitación de Inversión en el estado de Hidalgo en el periodo comprendido entre los años 2005 y 2007, su origen fue del 33% de inversión

nacional y del 67% de inversión internacional. En contraparte de las 42 empresas captadas para el mismo periodo, corresponde un 76.19% a proyectos nacionales y 23.81% a proyectos internacionales. Por lo anterior, se puede aseverar que a pesar de que el número de empresas nacionales es mayor, el importe de la inversión internacional en la entidad es superior al nacional. Gobierno del Estado de Hidalgo (8)

### **Comunicaciones y Transportes.**

Hidalgo cuenta con 11 mil 225 kilómetros de infraestructura carretera, de los cuales 77 corresponden a carreteras concesionadas; 866 a carreteras federales; 3 mil 38 a carreteras estatales y municipales; 5 mil 390 a caminos rurales; 1 mil 274 a brechas y 580 a caminos construidos por diversas dependencias.

De la longitud total están pavimentados 3 mil 981 kilómetros, de los cuales 346 km corresponden a autopistas de altas especificaciones, el resto son caminos rurales. La red existente ha permitido proporcionar comunicación a 2 mil 635 localidades donde se ubica más del 80% de la población del estado; en el 20% restante, aún por comunicar, se ubican localidades rurales con menos de 500 habitantes. Asimismo de las 84 cabeceras municipales, 81 de ellas cuentan con un acceso pavimentado y solamente tres: Tlahuiltepa, Pacula y Nicolás Flores no disponen de una vía pavimentada, presentando problemas de transitabilidad permanente. Gobierno del Estado de Hidalgo (9)

#### **Carretera Arco Norte.**

La conexión carretera entre los estados de Puebla, Tlaxcala, México e Hidalgo, a través de la autopista Arco Norte, de acuerdo a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (10), generará una notable disminución de unidades de transporte de carga que pasan por el Distrito Federal para ir a sus destinos.

La SCT estima que una vez que la autopista esté en su máximo funcionamiento, dejarán de transitar anualmente por la zona metropolitana un millón de vehículos pesados y, por ende, la disminución de 108 mil toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al año.

De acuerdo con el proyecto, la SCT detalla que la autopista, de cuatro carriles, cuenta con un recorrido de 223.85 kilómetros. Con este tramo, ya se facilita la comunicación con las carreteras México-Puebla, México-Tulancingo, México-Pachuca y México-Querétaro.

La dependencia federal refiere que ésta es la primera autopista “inteligente” que se construye en México, debido, entre otros factores, a que con una tarjeta entregada por máquinas inteligentes, se cobra el recorrido exacto realizado por la vía.

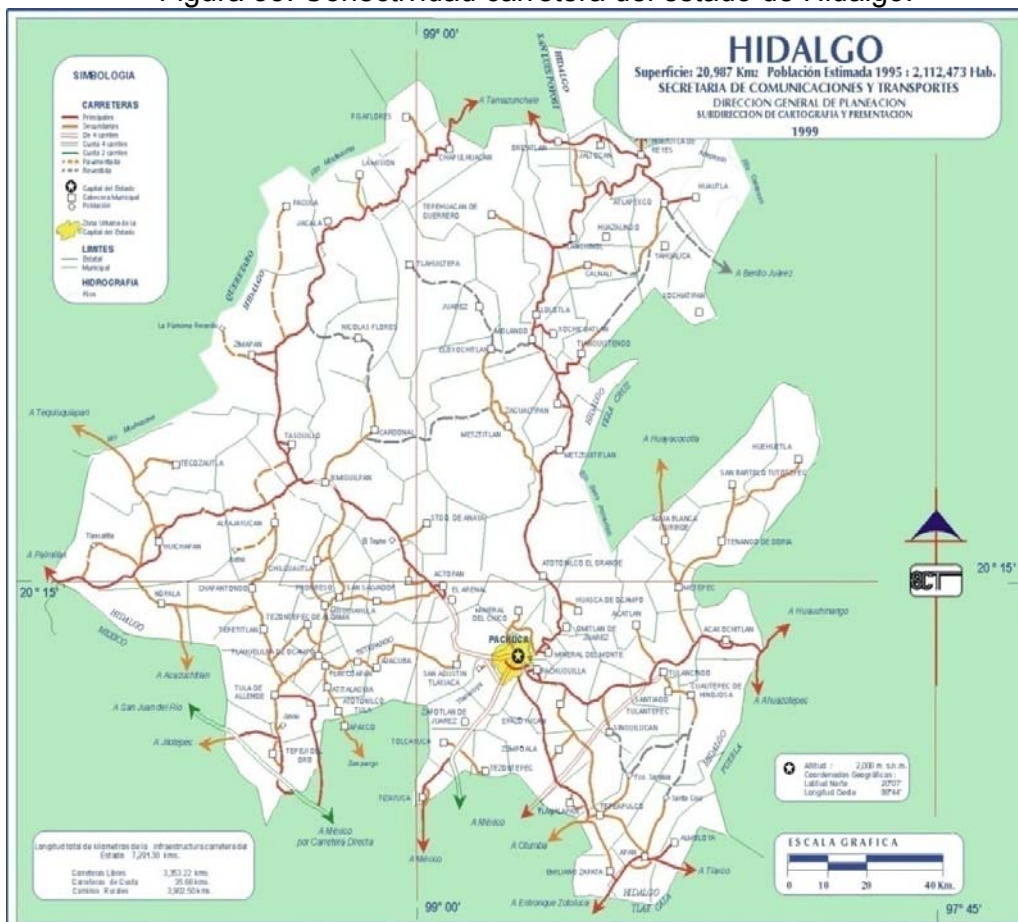
Entre las bondades de esta vía, la SCT cita que disminuyen los tiempos de traslado y costos de operación para quienes viajan entre el norte y el sur de la República.

Además, contribuirá a combatir el tránsito en la ciudad de México, ya que dejarán de circular tráileres con mercancías diversas como materiales de construcción, combustibles y nodrizas con vehículos nuevos a bordo.

La dependencia añade que las carreteras mexicanas tuvieron un diseño centralista donde se tomaba como punto de referencia a la ciudad de México, es decir, el paso por la capital del país era obligado para cruzar de un océano a otro y lo mismo de norte a sur.

El proyecto de Arco Norte, indica, es parte del programa de 14 corredores troncales que ofrecerán una conexión directa entre todas las regiones del país, y formarán una gran plataforma logística de clase mundial.

Figura 35. Conectividad carretera del estado de Hidalgo.



Fuente: [http://www.mexico-map.net/mapas-mexico/images/mapa\\_hidalgo\\_rutas.jpg](http://www.mexico-map.net/mapas-mexico/images/mapa_hidalgo_rutas.jpg)

## **Energía.**

Hidalgo cuenta con la infraestructura de generación de energía eléctrica suficiente con la termoeléctrica instalada en el municipio de Tula de Allende y la planta hidroeléctrica instalada en el municipio de Zimapán.

Actualmente en diversas regiones del Estado de Hidalgo, como la zona metropolitana de Pachuca, Tizayuca, Tula de Allende, Tulancingo y Tepeji del Río, se experimenta un déficit en la oferta de energía eléctrica a pesar de que el estado es el cuarto productor nacional de electricidad, ya que únicamente consume el 23% de la energía que produce, contando con un margen importante en la generación de energía eléctrica disponible para el desarrollo productivo. Gobierno del Estado de Hidalgo (11)

La nueva refinería de Pemex en Tula.

El gobierno de México acertó en su decisión de construir la nueva refinería de Petróleos Mexicanos (Pemex) en Tula, Hidalgo, porque asegura el mejor retorno de inversión y el abastecimiento de la zona del país con mayor demanda de destilados, coincidieron expertos del sector energético.

El nuevo complejo de la paraestatal tendrá una producción, en 2015 -año que entrará en funcionamiento-, de unos 142,000 barriles diarios de gasolinas, 82,000 de diesel y 12,000 de turbosina, a través del refinado de unos 300,000 barriles diarios de crudo maya.

Técnicamente Tula (Hidalgo) era la mejor, donde se maximiza la inversión, está cerca de los centros de distribución y requiere relativamente pocas obras de infraestructura. La zona Centro-Occidente del país consume alrededor del 60% de la demanda de destilados del país y tiene un déficit de suministro de 57%.

El estado de Hidalgo cuenta con unas 800 hectáreas para construir el complejo, conectividad ferroviaria y carretera y mano de obra calificada. El Gobierno mexicano valoró que la entidad federativa contara con cercanía a las fuentes de crudo y a las zonas de consumo, la disponibilidad de materia prima, la calidad del crudo disponible y la infraestructura, entre otros.

Los estados de Michoacán, Guanajuato, Tamaulipas, Tabasco, Veracruz, Puebla, Oaxaca, Campeche y Tlaxcala también participaron en la pelea por ganar la sede, pero quedaron fuera. En total la construcción de la nueva refinería generará una inversión de 9,023 millones de dólares (mdd), de la cual 8,171 mdd serán para la inversión en la refinería y 852 mdd en infraestructura de logística como oleoducto y poliductos.

Según Pemex, Tula tiene un retorno de inversión de 17.5%, mientras que otros proyectos como el de Salamanca, Guanajuato tenía un retorno de 17% y Salina Cruz, Oaxaca un 16.7%, según un nuevo estudio realizado en abril de este año.

Finalmente el criterio que acabó imperando fue el económico, porque necesariamente tenía que utilizarse una parte de la infraestructura ya desarrollada. Un impacto positivo que tendrá la construcción de la refinería será la demanda local de insumos, que serán producidas por empresas mexicanas.

Esta obra generará alrededor de 41,400 empleos directos y 48,300 empleos indirectos, una vez que comience a operar. Pemex importa unos 23,266 millones de dólares (mdd) anuales de productos petrolíferos, mientras que sus exportaciones totales alcanzan los 49,551 mdd, gran parte de esas importaciones se refieren a gasolinas y diesel.

La capacidad de la nueva refinería en Tula reducirá las importaciones a 15% de la demanda de gasolinas -desde el actual 40%- y exportar 10% de la producción de diesel y turbosina.

Cabe recordar que el mexicano ganador del premio Nobel de Química, Mario Molina, había recomendado realizar la obra en algún lugar donde ya hubiera daños ecológicos porque la inversión obligaría a efectuar un rescate ambiental.

### **Población.**

De acuerdo con las estimaciones realizadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), a mitad de 2008 Hidalgo contó con 2 millones 409 mil 162 habitantes aproximadamente, que tendrán una esperanza de vida que se ha incrementado de 58.40 a 74.84 años en las últimas cuatro décadas, mientras que la fecundidad ha disminuido de 7.14 a 2.12 hijos en promedio por mujer y la mortalidad infantil ha descendido de 89.6 a 16.52 defunciones de menores de un año por cada 1 mil nacidos vivos, en el mismo periodo.

La tasa bruta de natalidad para el estado se encuentra en 19.03%, por encima del promedio nacional que es de 18.69%. Esta variable define en gran parte el crecimiento natural de la población y al ser de las más altas en el país le imprimen una importancia relevante en su comportamiento presente y futuro.

La convergencia en los niveles de crecimiento natural entre las entidades federativas ha convertido a la migración interna, cada vez más, en el principal determinante demográfico de los cambios en la distribución geográfica de la población de México. Además, en Hidalgo se registran 20 municipios que presentan el fenómeno migratorio de manera importante hacia Estados Unidos, 4 de ellos son de muy alto grado de intensidad migratoria internacional y 16 de alto grado (CONAPO, 2002).

Se estima que actualmente residen más de 250 mil hidalguenses en la Unión Americana, quienes han elegido a los estados de California, Texas, Arizona, Georgia, Florida, Carolina del Norte y del Sur, Nueva York e Illinois como meta destino.

La composición del flujo migratorio hidalguense está caracterizado por una importante participación de población indígena, siendo los hogares indígenas hñahñús, que residen preponderantemente en el municipio de Ixmiquilpan,

quienes tienen porcentualmente más migrantes internacionales y reciben mayor cantidad de remesas, respecto a los demás grupos étnicos.

Un factor importante a considerar dentro del fenómeno migratorio hidalguense son los ingresos por remesas internacionales. En este sentido, en 2006, Hidalgo recibió 853 millones 400 mil dólares por este concepto y 952 millones 500 mil en 2007, lo que representa un incremento del 14.2%. Según cifras del Banco de México, el estado incrementó de 2005 a 2007 su recepción de remesas internacionales en medio punto porcentual a nivel nacional. Gobierno del Estado de México (12)

### 4.3 Apoyos financieros y tecnológicos.

Los subsidios gubernamentales han jugado un rol muy importante en el crecimiento de la producción de energía basada en celdas fotovoltaicas. Los productores de energías renovables en Estados Unidos han recibido créditos a los impuestos, por ejemplo, en Alemania se buscan distribuidores de electricidad para pagarles tarifas por encima del mercado, si generan electricidad por medio de fuentes renovables. Sin este tipo de políticas, el alto costo de generar electricidad por medios FV sería un gran impedimento frente a los costos actuales de fuentes tradicionales de generación, en la mayoría de los países. REN21 (13)

Cuadro 17. Subsidios gubernamentales en algunos países (2005).

Entidad	G8	UE	EEUU	China	India	Brasil	Costa Rica	México
Tarifas Reguladas ("Feed-in")	X	X	X	X	X	X	X	
Portafolio Estándar (RPS)	X	X	X		X			
Subsidios a capital, donaciones y reembolsos parciales	X	X	X	X	X			
Depreciación acelerada	X	X	X	X	X			X
Impuestos a la energía, reducción al IVA	X	X	X	X	X			
Intercambio de energía para micro-autoabastecedores ("net metering")	X	X	X					
Certificados comerciables de energía verde	X	X	X					
Pagos por energía suministrada o créditos fiscales	X	X	X					
Préstamos públicos para inversión o financiamiento	X	X	X	X	X	X		
Licitaciones públicas competitivas	X	X	X	X	X			

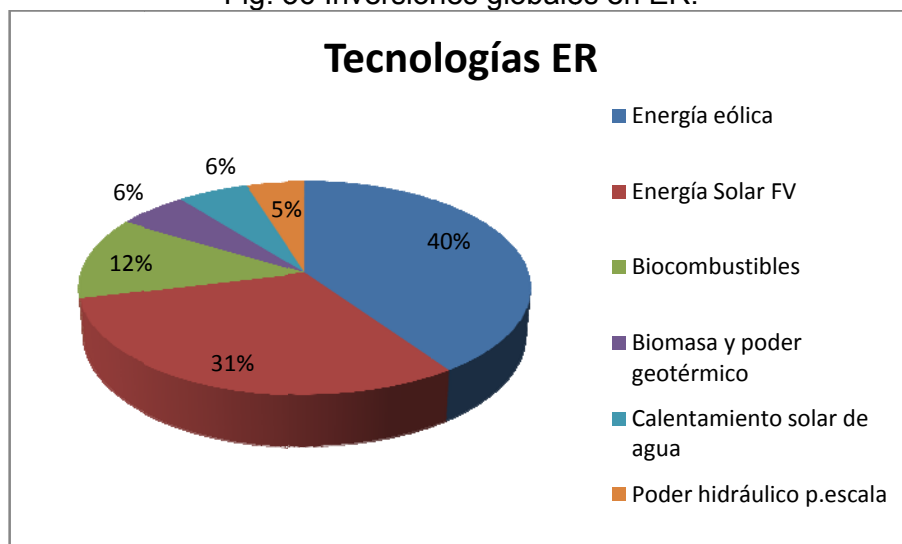
Fuente: Renewables 2005 Global Status Report.

#### Inversiones Globales en ER.

De acuerdo a la fuente citada anteriormente, un estimado de \$120 mil millones (usd) fueron invertidos en ER alrededor del mundo en 2008, incluyendo nuevas capacidades (recursos financieros y proyectos) y refinerías de biocombustibles. Este es un crecimiento en inversiones del doble respecto del 2006, \$63 mil millones (usd).

Aproximadamente las inversiones por tecnología en 2008 fue: Energía eólica (40%), solar FV (31%), biocombustibles (12%), biomasa y poder geotérmico (6%), calentamiento solar de agua (6%) y poder hidráulico a pequeña escala (5%). Adicionalmente en 2008 se invirtieron \$40 – 45 mil millones (usd) en poder hidráulico a gran escala. Ver figura número 36.

Fig. 36 Inversiones globales en ER.



Fuente: REN21, disponible en [http://www.ren21.net/pdf/RE\\_GSR\\_2009\\_Update.pdf](http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2009_Update.pdf)

El país que recibió un mayor financiamiento en 2008 (\$24 mil millones usd) fue EE. UU., debido a un record de instalaciones de energía eólica e inversiones en etanol, desplazando a Alemania como el país que durante mucho tiempo fue el líder en inversiones en ER, con cerca de un 20% del total del monto de inversión. España, China y Alemania (en ese orden) fueron los segundos al recibir montos entre \$15 y \$19 mil millones (usd). Brasil fue el quinto, con \$5 mil millones (usd) por sus inversiones en biocombustibles.

Un gran número de bancos continuaron con préstamos para proyectos en ER en 2008, el líder fue el banco Europeo, European Investment Bank, el cual proveyó más de 2 millones de euros (\$2.6 mil millones usd) para proyectos ER en EE. UU. y a nivel mundial. REN21 (14). Esta será una importante fuente de financiamiento que participe en el proyecto que se presenta más adelante en esta tesis.

En México, para fomentar la participación de los inversionistas nacionales y extranjeros en proyectos de infraestructura básica, se constituyó en BANOBRAS el Fondo de Inversión en Infraestructura (FINFRA), que tiene como instrumentos: capital de riesgo y capital subordinado; participa como socio minoritario dentro del proyecto, aportando hasta el 35% del capital ordinario.

Además del Fideicomiso de la LAFRE (Law for the Use of Renewable Sources of Energy, por sus siglas en ingles capítulo 4.1), existen apoyos del Fondo para el Medio Ambiente Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Banco Mundial, entre otros, para la generación de electricidad a gran escala a partir de ER (especialmente para la eólica), así como para la investigación y el desarrollo tecnológico.



## Bonos de Carbono.

Como signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas de Cambio Climático y de su Protocolo de Kioto, México no tiene compromisos cuantitativos y se puede beneficiar del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) vendiendo Certificados de Reducción de Emisiones.

La aprobación de los proyectos realizados en México, desde la perspectiva de país huésped, la realiza el Comité de Proyectos de Reducción de Emisiones y Captura de Gases de Efecto Invernadero (COMEGEI) que funge como autoridad nacional designada ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, y es uno de los grupos de trabajo del Comité Intersecretarial de Cambio Climático (CICC). En el COMEGEI la aprobación de proyectos se da por consenso entre las Secretarías que lo conforman.

Hasta el año 2006, la COMEGEI ha emitido cartas de aprobación para 24 proyectos que evitarán la emisión de 5.8 Millones de Toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Adicionalmente, el Sector Energía está trabajando a través del Comité de Cambio Climático del Sector Energía, en el desarrollo de una cartera de proyectos de Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), que incluye iniciativas en los sectores público y privado para ER. SENER (15)

## Incentivos fiscales.

Con la finalidad de propiciar inversiones en maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de ER, el 1° de diciembre de 2004 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la modificación al Artículo 40, Fracción XII de la Ley de Impuesto sobre la Renta, en la que se establece que los contribuyentes del ISR podrán depreciar el 100% de la inversión en un solo ejercicio. La maquinaria y equipo que se adquiera se debe mantener en operación durante un periodo mínimo de cinco años, con fines productivos.

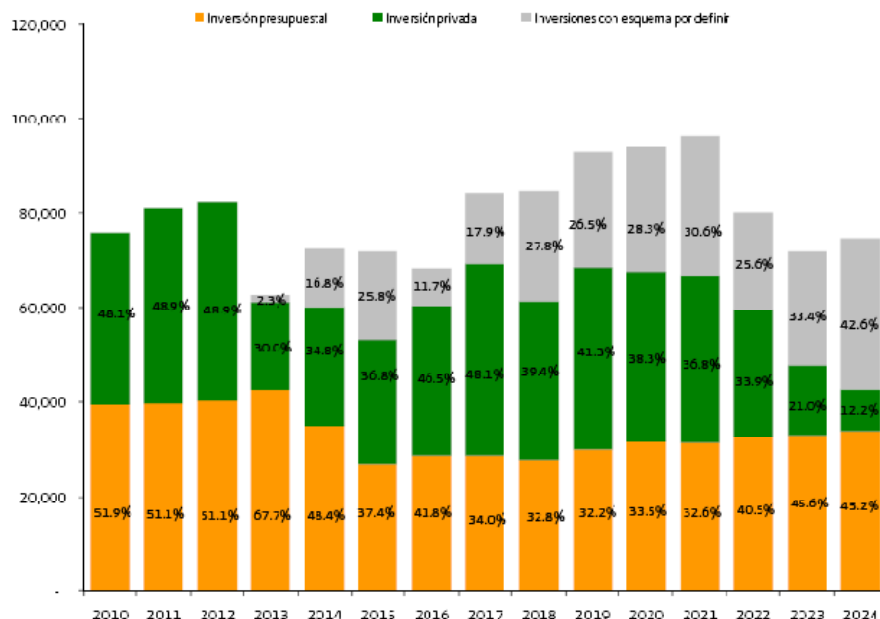
De acuerdo a la SENER (16), para el periodo 2010-2024, los recursos estimados para cumplir con el programa de expansión del sistema eléctrico nacional, ascienden a 1,193, 296 millones de pesos de 2009. Esta cantidad considera los rubros de inversión en generación, transmisión, distribución, mantenimiento y otras inversiones. En el total estimado de recursos se incluye la inversión a realizarse por medio de los esquemas de obra pública financiada, producción independiente de energía, así como la inversión presupuestaria de la CFE.

La composición de la inversión total es la siguiente: 49.0% para generación, 18.5% para transmisión, 20.1% para distribución, 11.6% para mantenimiento y 0.8% para otras inversiones.

Del total requerido, 30.1% corresponde a Obra Pública Financiada; 8.2% a Producción Independiente de Energía; 41.9% a obras presupuestales y el restante 19.8% a esquemas financieros aún por definir.

Los requerimientos presentados corresponden a inversiones instantáneas, las cuales excluyen costos financieros e incluyen una cantidad para contingencias (figura 37).

Figura 37.  
 Requerimientos de inversión en el sector eléctrico nacional, 2010-2024  
 (millones de pesos de 2009)<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Costos instantáneos de las obras (se excluyen los costos financieros) a precios constantes, considerando un tipo de cambio de 13.77 pesos/dólar. Se incluye un monto de 16% para contingencias en proyectos de transmisión y subtransmisión.  
 Fuente: Comisión Federal de Electricidad.

## Desarrollo Tecnológico

El desarrollo de las ER ha sido impulsado de manera importante por las reducciones en los costos de inversión, operación y mantenimiento derivados de mejoras tecnológicas. De ahí resulta la importancia de fortalecer a nivel nacional su investigación y desarrollo tecnológico.

Existe una importante red de investigación en materia de ER en México, que incluye instituciones tanto del sector público como privado. Cabe destacar la participación de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) que han impulsado proyectos que buscan promover y apoyar la innovación tecnológica en el sector eléctrico, así como de sus proveedores y usuarios, mediante la investigación aplicada, el desarrollo tecnológico y servicios especializados.

La SENER establece los lineamientos de política en materia de investigación en ER. El gobierno de México participa a través de la SENER, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) y el IIE, con organismos internacionales de energía, incluyendo a la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), la Agencia Internacional de Energía (IEA) y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Instituciones como el Centro de Investigación de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico

Nacional, están desarrollando proyectos de investigación referentes a las ER. SENER (17)

### **Enfoques para el empleo de inversiones en tecnología en los países en desarrollo.**

La transferencia internacional de tecnología por medio del comercio ocurre cuando un país importa bienes intermedios de alta calidad (que el mismo puede producir) –tales como turbinas y calderas de vapor- para utilizarlos en sus procesos de combustión de carbón. El comercio sirve como canal para la transferencia internacional de tecnología a los países en desarrollo.

Sin embargo, parece ser que el comercio intraindustrial tiene un papel más importante en la transferencia de tecnología que el comercio interindustrial. El primero es de mayor penetración en los países desarrollados y el segundo destaca más en el comercio entre los países desarrollados y en desarrollo.

Otros enfoques utilizados por los países en desarrollo para la adquisición de tecnologías, los cuales se interrelacionan y se apoyan entre sí, incluyen los siguientes:

- Inversión. Una empresa puede fundar un establecimiento en el extranjero para explotar la tecnología en sí misma. La inversión extranjera directa (IED) constituye el medio más importante para transferir tecnología a los países en desarrollo.
- Empresas Conjuntas Internacionales (ECI). Éstas constituyen también un acuerdo de negocios común para la transferencia internacional de tecnología pues empresas de distintos países explotan oportunidades de la transferencia interempresarial internacional complementaria de beneficio mutuo. El gobierno local requiere algunas veces que una ECI incluya una empresa local como condición para hacer negocios en el país destino.
- Licencias. Una empresa puede licenciar su tecnología a un agente en el exterior que la utilice para modernizar su propia producción. La penetración exitosa de mercados externos pocas veces se basa sólo en exportaciones. Varias barreras arancelarias y no arancelarias y políticas fiscales, o el clima general de las inversiones pueden hacer que una opción de exportaciones sea costosa.
- Reubicación temporal de empleados. La tecnología se transfiere internacionalmente a menudo a través de los empleados de las empresas multinacionales o mediante la migración de expertos.
- Ayuda internacional para el desarrollo. Varios países han puesto en funcionamiento iniciativas en sus programas de desarrollo nacional para facilitar la transferencia de tecnologías limpias de carbón a los países en desarrollo. Banco Mundial (18)

## **Prospectiva de Energías Renovables, una visión al 2030 de la Utilización de las Energías Renovables en México.**

El primer prospectivo para ER elaborada a solicitud de la SENER (19), prevé como escenario base que la oferta de energía primaria se duplicará entre 2002 y 2030. El gas natural tendrá una tasa de crecimiento anual del 3.5%, la demanda de petróleo para el año 2030 se estima en 3.4 millones de barriles diarios y en cuanto a ER, la hidroenergía crecerá 2.3% por año, la biomasa y desechos 3.7% y otras renovables 4.1%.

ER no utilizadas en la generación eléctrica alcanzarán sólo el 5% del total de la mezcla, reduciendo su participación la biomasa y desechos del 8% al 4% entre 2002 y 2030, debido a que el uso principal de la biomasa en México al 2004, es en el sector residencial (leña para la cocción de alimentos); si bien habrá una reducción en el consumo total de biomasa, el avance será que de usar leña se pasará a un mayor uso de biomasa proveniente de residuos agronómicos y urbanos.

En cuanto a la biomasa y los desechos, se prevé un incremento para llegar a ser tan importante como la geotermia en 2030 (36% y 38% del total generado por ER excluyendo la hidroenergía) y el doble de la contribución del viento (19%). La contribución de la hidroenergía a la generación eléctrica se duplicará entre 2002 y 2030.

En esta prospectiva no se incluye la del aprovechamiento de la energía solar, sin que se justifiquen las razones de ello.

### **4.4 Consideraciones del proyecto.**

- México aún no se puede considerar como un mercado atractivo para los módulos solares, debido a que la actual política energética es limitada por el nivel de desarrollo del país. Sin embargo en el mediano y largo plazos será una de las opciones ante el agotamiento de reservas de hidrocarburos y la tendencia mundial hacia el freno del deterioro ambiental.

- El mercado objetivo son edificios y casas habitación en la Unión Europea y Estados Unidos.

- El crecimiento del mercado mundial fotovoltaico ha sido en promedio mayor al 30% anual en los últimos 10 años.

- Los costos de materiales y equipo de fabricación fueron proporcionados por la empresa Suiza, Energo Solar, compañía que produce plantas llave en mano para la fabricación de módulos solares de silicio amorfo.

- Se considera a la energía eléctrica como una materia prima ya que tiene ventajas económicas para los gastos de operación.

- El ejercicio económico y financiero se considera con producción constante.

- La capacidad nominal de la planta es de 559,238 paneles solares anuales.
- El petróleo se está agotando y ya no es tan fácil ni barato extraerlo; a la vez que tras poco más de 200 años de quemar leña, carbón, gas y petróleo, generando bióxido de carbono, el medio ambiente está al borde del colapso.
- Se estima que para el año 2030 la demanda mundial de energía se incrementará en un 50%.
- 140 años le tomó al mundo consumir el primer billón de barriles de petróleo, y le tomará sólo 30 años consumir el siguiente billón.
- En los países industrializados existen ya iniciativas y programas orientados al ahorro y uso eficiente de la energía con metas claras para los siguientes 10 años como la Unión Europea y los Estados Unidos.
- El crecimiento de algunas economías emergentes de un 8% a 10%, se espera que su demanda de energía aumente de tres a cinco veces para 2050, ya que se está construyendo infraestructura intensiva en uso de carbono en forma creciente y las ciudades también están surgiendo y creciendo con rapidez.
- La maquinaria y equipo industrial sería importado por lo que procedería considerar que se podría contratar un financiamiento internacional y por lo tanto la tasa de interés sería menor a la nacional.
- La dependencia de México respecto a la materia prima es la que corresponde a un país en vías de desarrollo. Prácticamente el 80 o 90% de la materia sería de procedencia extranjera.

### **Las ventajas no valoradas de las energías renovables.**

Cobertura gratis: A diferencia de los combustibles fósiles, las fuentes renovables ofrecen una garantía de estabilidad de largo plazo en los precios de la energía. Para obtener una cobertura (o hedging) similar para un combustible, es necesario pagar un sobreprecio:

- De hecho, no existen en el mercado coberturas de plazos tan largos como los que ofrecen las tecnologías de fuentes renovables  $\approx$  25 años.
- Esto quiere decir que las renovables ofrecen una cobertura gratis.

Reducción de riesgos por diversidad en el portafolio energético: En los sistemas energéticos es fundamental el concepto de riesgo; no se puede hablar de costos sin hablar de riesgos. El incluir fuentes renovables en los portafolios energéticos reduce riesgos.

Reducción de impactos ambientales y sobre la salud: El aprovechamiento de las fuentes renovables es una de las mejores maneras de reducir los impactos del sector energía en el medio ambiente y en la salud.

A nivel nacional, permite disminuir los costos que representan para la Nación estos impactos negativos.

A nivel internacional, permite aprovechar oportunidades disponibles:

- Financiamiento de proyectos a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto.
- Fondos de donación de organismos multilaterales: Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Renewable Energy & Energy Efficiency Partnership (REEEP), Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID, por sus siglas en inglés) y el GTZ.

Beneficios sociales: Las tecnologías para el aprovechamiento de las fuentes renovables de energía promueven el desarrollo regional sustentable con empleos permanentes y bien remunerados.

Contribuyen a mejorar la calidad de vida en zonas aisladas de alta marginación, tanto por medio de sistemas aislados como por medio de sistemas conectados a la red, para cuya conexión se extiende la red. Mata (20)

#### **4.5 Evaluación Económica y Financiera.**

Cuando se analiza un proyecto de inversión, se realizan investigaciones de mercado, estudios técnicos y de riesgo, además de estudios económicos, en los que se incluyen análisis financieros que tienen relación con el rendimiento o utilidad que se espera obtener con el proyecto. Los tres indicadores de rentabilidad financiera que más comúnmente se utilizan para evaluar los proyectos de inversión son: el del Valor Actual Neto (VAN), también conocido como Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el período de recuperación.

Por lo general, esta evaluación financiera de proyectos de inversión se hace con base en los flujos de efectivo asociados al proyecto que se pueden agrupar en cuatro categorías básicas:

- Inversión inicial neta.
- Flujos de efectivo futuros, producto de la operación del proyecto.
- Flujos de efectivo no operativos como, por ejemplo, los que se requieren para una reparación muy importante.
- Valor neto de recuperación, que es el valor al que se pueden vender, al término del proyecto, los activos de valor considerable que pudiera haber sido necesario adquirir como parte del proyecto.

Valor Presente Neto (VPN).

El VPN de un proyecto de inversión es el valor actual de todos los flujos de efectivo relacionados con el proyecto. En otras palabras, es el valor presente de todos sus costos (egresos) y sus ingresos, desde su principio y hasta su terminación.

Para calcular el VPN se utiliza una tasa que se conoce como el “costo de capital”, cuya determinación puede ser complicada, pero, si se utiliza como costo del capital simplemente la tasa de interés que se tendría que pagar si se obtiene dinero en préstamo de algún banco, se podría fijar ese costo de capital en, por ejemplo, 18% anual, capitalizable mensualmente. Con esos elementos, el valor actual neto de cualquier proyecto de inversión se calcularía como sigue:

$$VP = \frac{C}{(1+r)^T}$$

Donde: VP = valor presente; C = flujo de efectivo; r = tasa de descuento y T = período de tiempo.

$$VPN = C + VP$$

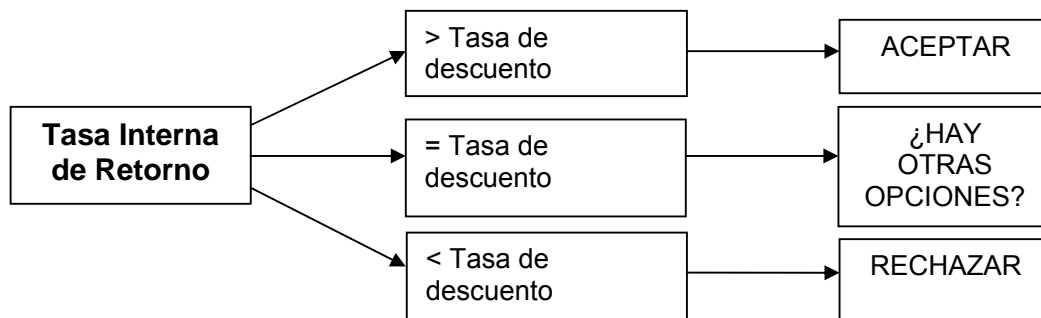
Donde VPN = valor presente neto; C = monto de inversión y VP = valor presente

Al ser el valor presente neto positivo, el proyecto es atractivo en términos financieros. En otras palabras, si en las condiciones de mercado prevalecientes se puede considerar razonable un costo de capital de  $i\%$  anual convertible mensualmente, conviene realizar este proyecto de inversión y, si no hay alteraciones a lo estimado, se podría esperar obtener una utilidad neta a valor actual. Es necesario resaltar que el criterio para decidir si se emprende o no el proyecto debe basarse en el carácter del VAN, es decir, si es positivo o negativo. Santandreu (21)

Tasa Interna de Rendimiento (TIR).

La TIR es la tasa a la cual el valor actual de los ingresos del proyecto es igual al valor actual de los egresos. El criterio para tomar decisiones con base en este método es emprender el proyecto cuando la TIR sea superior al costo de oportunidad del capital, que es, expresado en forma sencilla, como un promedio ponderado de los costos de todos los fondos con los que opera una organización, principalmente capital y deuda. Para identificar si un proyecto es elegible o no se debe confrontar con la tasa de descuento.

En forma simplificada se puede ilustrar con la siguiente figura:



Fuente: Elaboración propia con base en Dumrauf, L. G. (2006) Finanzas Corporativas, México, Alfaomega.

Por su parte la TIR se encuentra cuando se resuelva la siguiente ecuación, empezando por simplificarla hasta donde sea posible:

$$P = \left( \frac{FNE_1}{(1+i)^1} \right) + \left( \frac{FNE_2}{(1+i)^2} \right) + \left( \frac{FNE_3}{(1+i)^3} \right) + \left( \frac{FNE_4}{(1+i)^4} \right) + \dots + \left( \frac{FNE_n + VS}{(1+i)^n} \right)$$

Donde: P= inversión inicial, FNE= flujo neto de efectivo, i= tasa de descuento, VS= valor de salvamento.

Se puede resolver esta ecuación mediante ensayo y error, para encontrar su valor que es la tasa interna de rendimiento mensual, ya que los flujos de efectivo están planteados en meses.

Cabe aclarar que estos métodos pueden ser equivalentes en algunos casos, como cuando se trata de proyectos independientes, en los que la selección de un proyecto no depende de la selección de otros proyectos y son también equivalentes en casos de proyectos convencionales en los que existen desembolsos iniciales en efectivo y una serie de flujos futuros (de ingresos y egresos), también en efectivo. Santandreu (22)

Período de Recuperación (PRI).

El periodo de recuperación de la inversión - PRI - es uno de los indicadores que en el corto plazo puede tener el favoritismo de algunas personas a la hora de evaluar sus proyectos de inversión. Por su facilidad de cálculo y aplicación, el Periodo de Recuperación de la Inversión es considerado un indicador que mide tanto la liquidez del proyecto como también el riesgo relativo pues permite anticipar los eventos en el corto plazo.

Es importante anotar que este indicador es un instrumento financiero que al igual que el Valor Presente Neto y la Tasa Interna de Retorno, permite optimizar el proceso de toma de decisiones.



El PRI es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial.

Para calcular los flujos netos de efectivo (FNE) debe acudir a los pronósticos tanto de la inversión inicial como del estado de resultados del proyecto. La inversión inicial supone los diferentes desembolsos que hará la empresa en el momento de ejecutar el proyecto (año cero). Por ser desembolsos de dinero debe ir con signo negativo en el estado de FNE.

Del estado de resultados del proyecto (pronóstico), se toman los siguientes rubros con sus correspondientes valores: los resultados contables (utilidad o pérdida neta), la depreciación, las amortizaciones de activos diferidos y las provisiones. Estos resultados se suman entre sí y su resultado, positivo o negativo será el flujo neto de efectivo de cada periodo proyectado.

Importante es que la depreciación, las amortizaciones de activos nominales y las provisiones, son rubros (costos y/o gastos) que no generan movimiento alguno de efectivo (no alteran el flujo de caja) pero si reducen las utilidades operacionales de una empresa. Esta es la razón por la cual se deben sumar en el estado de flujo neto de efectivo.

Las principales desventajas que presenta este indicador son las siguientes: ignora los flujos netos de efectivo más allá del periodo de recuperación; sesga los proyectos a largo plazo que pueden ser más rentables que los proyectos a corto plazo; ignora el valor del dinero en el tiempo cuando no se aplica una tasa de descuento o costo de capital. Estas desventajas pueden inducir a los inversionistas a tomar decisiones equivocadas. Didier (23)

#### **4.6 Planteamiento del proyecto.**

Para llevar a cabo la evaluación financiera del proyecto, se toma como referencia la cotización de la empresa Energo Solar, compañía de origen suizo con planta de fabricación en Hungría, que diseña, construye e instala plantas llave en mano para la fabricación de celdas y módulos solares de silicio amorfo.

En la cotización mencionada se detallan los costos de los materiales, componentes, substratos, mano de obra recomendada y tiempos de fabricación sugeridos. Los datos obtenidos se recibieron en dólares americanos, el desarrollo de la evaluación financiera se realizó en pesos mexicanos, considerando una tasa cambiaria de \$13.5 pesos / dólar americano, por ser el tipo de cambio de los últimos meses.

Se plantean tres escenarios, en el primer escenario se contempla un tipo de cambio de \$15.47 pesos/euro y depreciación de maquinaria y equipo a 10 años, en el segundo escenario se contempla un tipo de cambio de \$17 pesos /euro y depreciación a 10 años de maquinaria y equipo y en el 3er escenario se tomaron las consideraciones hechas en el escenario n° 1, más se buscó cuanto

sería el monto en el costo de la maquinaria y equipo que sería el adecuado para hacer rentable el proyecto y así obtener datos cuantitativos comparables.

Una de las variables a comparar es el factor del tipo de cambio del euro/peso, ya que el equipo principal e insumos son de importación y el principal mercado en la actualidad es la UE.

En base a costos anuales de materiales, maquinaria, personal, nave industrial, entre otros, se inicia el proyecto de inversión con un plan de ventas a 10 años, suponiendo que la orden de compra a la empresa Energo Solar, se hace en el año corriente, 2010, e iniciando la producción y ventas en el año 2012.

Se genera un plan global de inversiones, en el cuál se toman en cuenta las inversiones fijas, costos de organización, costos de transacción, capital de trabajo e imprevistos, obteniendo el monto de inversión total inicial.

El monto obtenido en el plan global de inversiones es de: \$ 585,143, 264.25 m.n., de donde un 80% de la inversión inicial corresponde al costo de maquinaria y equipo.

Sobre este monto de inversión total, se simula su financiamiento a tres diferentes tasas de crédito, planteadas considerando un alto costo crediticio en la actualidad en el país, con la finalidad de tener datos comparativos del financiamiento para el monto inicial, 13%, 15% y 17%. Para este proyecto de tesis se considera la tasa del 13% para obtener los costos financieros.

El plan de ventas, nos entrega montos anuales de venta y costos de materia prima, los cuales se utilizarán en la preparación de los Estados de Resultados, ofreciéndonos un análisis histórico y proyección de expectativas anuales.

El siguiente paso, es calcular la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR). La TMAR ó Costo de Capital Mixto se calcula como un promedio ponderado de las aportaciones de capital a la empresa, además que se utilizará en el cálculo de uno de los principales indicadores para la toma de decisión de inversión en un proyecto, el Valor Presente Neto (VPN).

Esta tasa esta referenciada por el Banco Europeo de Inversión (EIB), Apoyo Financiero para los Negocios en México (FICEN) empresa privada otorgante de créditos y la tasa hipotecaria actual de acuerdo a la Comisión Nacional para la Protección y Defensa de los Usuarios de Servicios Financieros (CONDUSEF).

La TMAR obtenida del capital total es de 7.5%, lo que significa que es el rendimiento mínimo que deberá ganar la empresa para pagar la tasa de interés nominal de 1.20625% del EIB, 13 % de la FICEN y 14.5 % de bancos.

El cálculo de la TMAR es como sigue:

Entidad	Tasa de interés nominal	% de aportación	Promedio Ponderado
European Investment Bank (1)	1.21%	50%	0.0060312
FICEN (2)	13%	25%	0.0325
Bancos (3)	14.50%	25%	0.03625
Suma			0.0747812

La TMAR mixta calculada es de= **7.5%**

(1) EIB, <http://www.eib.org/projects/regions/ala/index.htm>  
Créditos en base a tasa libor en dólares americanos.

[http://www.tasalibor.com/tasa\\_libor\\_dolar-usa\\_1-mes.aspx](http://www.tasalibor.com/tasa_libor_dolar-usa_1-mes.aspx)

(2) TIIE 28 días + 8 puntos de acuerdo a:

<http://www.banxico.org.mx/PortalesEspecializados/tasasInteres/mercadodevalores.html>

<http://www.ficen.com.mx/ProdCapitalPerm.asp>

FICEN: Apoyo Financiero para los negocios en México

(3)<http://www.bancomex.com/polmoneinflacion/servicios/calcDeInflacion/calcDeInflac.html>

Los créditos hipotecarios bancarios mostrados en la página de CONDUSEF, utilizan un valor de inflación de 5.22% para sus cálculos.

Tomando como referencia el nivel de crecimiento del mercado mundial FV, entre 1998 y 2007, se calcula la tasa de crecimiento y la tasa de crecimiento media anual (TCMA) lo que nos clarifica el crecimiento del mercado FV a un futuro cercano y evidencia que el proyecto tendría un buen nivel de aceptación y crecimiento inmediato.

Estudio de Mercado: Megawatts de potencia (MWp) fotovoltaicos instalados a nivel mundial

Año	Consumo (MWp)
1998	150
2007	4689.5

Tasa de crecimiento: Mide el cambio de un fenómeno en el tiempo con dos puntos de referencia.

$$TR = ((VF/VI)-1)*100$$

$$TR = ((4689.5/150)-1)*100 = \boxed{3026\%}$$

Tasa de cambio media anual (TCMA): Considera además del valor final y del valor inicial el número de períodos involucrados (normalmente años).

$$TCMA = (((VF/VI)^{1/n}-1)*100$$

$$TCMA = (((4689.5/150)^{1/10}-1)*100 = \boxed{47\%}$$

Se podría inferir que a partir de la TCMA observada en los últimos 10 años, los MWp fotovoltaicos instalados crecerá en los próximos años a una tasa del 47% anual.

Se desglosan en base al número de paneles producidos los costos fijos, costos variables, costos medios y costos totales. Datos que son de utilidad para el cálculo del punto de equilibrio, punto de equilibrio en porcentaje de ventas, y unidades mínimas a vender.

Una de las herramientas que nos permite el control y seguimiento de las actividades a llevar a cabo para la correcta planificación del proyecto es la Gráfica de Gantt, nos ayuda a visualizar el calendario mensual de operaciones al inicio del proyecto, así como nos muestra el flujo de efectivo mensual.

Finalmente, se obtienen los indicadores para la toma de decisión en proyectos de inversión, valor presente neto, tasa interna de retorno, relación beneficio/costo y período de recuperación.

#### **4.7 Descripción del proceso.**

Para la fabricación de celdas solares de silicio amorfo, se requieren de los siguientes componentes principales: gas silano ( $\text{SiH}_4$ ), fosfina ( $\text{PH}_3$ ) y diborano ( $\text{B}_2\text{H}_6$ ) que se depositan sobre un sustrato, el cual puede ser vidrio, metal o plástico a una temperatura entre 200 – 250°C.

El proceso y equipos involucrados son:

1. Reactor de plasma por depósito químico en fase vapor (CVD, por sus siglas en inglés): depósito de silicio amorfo hidrogenado (gas silano).
2. CVD-2: depósito de capa p (dopaje con  $\text{B}_2\text{H}_6$ ).
3. CVD-3: depósito de capa i.
4. CVD-4: depósito de capa n (dopaje con  $\text{PH}_3$ ).
5. Rayado Laser.
6. Celdas interconectadas sobre el sustrato.

7. Encapsulador EVA.

8. Producto final.

Fuente: Solar Electricity, UNESCO Energy Engineers Series (2004)

De la cotización original de Energo Solar se toma el valor de costo de materiales/módulo = \$30.32 usd:

Total Cost Materials					Cost/Module
Total Glass Costs					14.40
Total Frame Costs					0.00
Total Gases					1.29
Total Target Material					1.32
Total EVA					2.62
Total Contact					1.49
Total Junction Box					5.78
Total Documentation					0.24
Total Glass Preparation					0.33
Total Packaging					1.10
Total Consumables					1.76
<b>Total</b>					<b>30.32</b>

Al multiplicar este monto por la capacidad de módulos fabricados/año= 559,238 obtenemos el costo anual de materiales, que al tipo de cambio de \$13.5 pesos/usd, obtenemos un valor de \$ 228, 898, 779.71 m.n.

Referente al costo de mantenimiento anual, se realizó un procedimiento similar al anterior partiendo de los datos de la cotización:

Maintenance costs	Spec	Unit	Unit cost	Unit/Module	Cost/Module
Vacuum pump oil		ltr	12	0.001	0.012
Spare parts kit			101000	1.7881E-06	0.180602763
Shifted parts			115312.5	1.7881E-06	0.206195605
Others 2					0
<b>Total Maintenance</b>					<b>0.40</b>

Obteniendo un costo anual de mantenimiento de \$ 3, 010,815.37 m.n.

En cuanto al concepto de otros costos directos, este involucra:

Other Operational Costs	Spec	Unit	Unit cost	Unit/Module	Cost/Module
Gas for Abatement systems		m3	1	0.04	0.04
Rental Gasbotles		m3	1	0.12	0.12
<b>Total Other Direct cost</b>					<b>0.16</b>

Obteniendo un costo anual de: \$ 1, 303,319.70 m.n.

El personal recomendado para la operación directa de la planta en 4 turnos de operación es:

- Gerente de planta e Ingenieros de producción – 4
- Técnicos – 16
- Operadores – 94
- Fuente: Energo Solar (2008)

De acuerdo a un estimado de los salarios locales para los diferentes niveles de personal se obtiene un costo anual de \$ 13, 024,800.00 m.n.:

Puesto	No. puestos	Salario mensual	Salario mensual/categoría	Salario anual/categoría
Gerente de Planta	1	\$ 70,080.0	\$ 70,080	\$ 840,960
Ingeniero de producción	4	\$ 28,400.0	\$ 113,600	\$ 1,363,200
Técnicos	16	\$ 13,000.0	\$ 208,000	\$ 2,496,000
Operadores	94	\$ 7,380.0	\$ 693,720	\$ 8,324,640
<b>Total</b>			<b>\$ 1,085,400</b>	<b>\$ 13,024,800</b>

#### 4.8 Resultados esperados.

Para el desarrollo del **escenario nº 1** se parte de la consideración de un costo de venta actual en la UE de 1.25 €/Wp para paneles de silicio amorfo ([www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com), junio 2010) y de acuerdo del tipo de cambio de \$15.47 pesos/€ (Banco de México, 17/06/2010).

A continuación se muestran las características básicas del módulo solar de silicio amorfo a fabricar:

Voltaje	Amperaje	Watts	Costo venta (m.n.)	Dimensiones
12 V	2.8 A	43 Wp	\$ 831.50	0.64 m X 1.25 m X 0.058m

Fabricación anual de 559, 238 módulos al 95% de rendimiento en planta y ventas al 100% desde el primer año, esto debido a la alta demanda de mercado de módulos FV.

Los resultados obtenidos en el **escenario nº 1** (Depreciación de maquinaria y equipo a 10 años) son:

Punto de equilibrio: \$ 398, 058, 131.26 m.n., que es la venta necesaria para que la empresa opere sin perdidas ni ganancias. Esto representa el 86% de las ventas anuales pronosticadas.

Punto de equilibrio en porcentaje de ventas: De las ventas totales, el 85.6% es empleado para el pago de costos fijos y el 14.4% es la utilidad de operación que obtiene la empresa.

Unidades mínimas a producir: 478, 723 paneles solares/año, ésta sería la cantidad mínima a producir para que no existan pérdidas ni ganancias. Ésta producción representaría el 85.6% de la capacidad instalada de la planta.

Bajo este primer criterio, la empresa operaría con un rango pobre entre el punto de equilibrio y la capacidad máxima de producción de la planta, además que se tendría un margen considerado de ganancias.

Valor presente neto = -\$424, 088, 330.80 m.n., se obtiene un resultado negativo, bajo el criterio del VPN, el proyecto no es aceptable, ya que las ganancias serían menores que las inversiones.

TIR: Bajo estas condiciones no es posible obtener un valor para TIR.

Período de recuperación: Durante los 10 primeros años proyectados no se tiene la recuperación esperada a la inversión inicial, por lo que el proyecto no es viable.

Los costos fijos y variables obtenidos son:

	<b>Gastos Fijos</b>	<b>Gastos Variables</b>
Costo Materia Prima		\$ 228,898,779.71
Costo Mantenimiento		\$ 3,010,815.37
Otros costos directos		\$ 1,303,319.70
Costo de Personal	\$ 13,024,800.00	
Depreciaciones	\$ 46,248,779.01	
Pago Luz, anual		\$ 2,040,000.00
Pago Agua, anual	\$ 10,000.00	
Pago Telefono, anual	\$ 54,000.00	
Gastos financieros	\$ 137,337,798.69	
Total	\$ 196,675,377.70	\$ 235,252,914.78

Costo de producción unitario (m.n.):  $CF+CV / \text{no. módulos} = \$ 772.35$

Costo de producción unitario (€):  $CF+CV / \text{no. módulos} = \$ 49.92$

Costo por Wp (€/Wp) =  $49.92 \text{ €} / 43 \text{ Wp} = 1.16 \text{ €/Wp}$

Margen de ganancia, respecto a costo de venta = 7.1%

A pesar de que el proyecto no es rentable por el alto costo de la inversión inicial del equipo para la fabricación de las celdas solares de silicio amorfo, los costos obtenidos de fabricación serían competitivos.

Para el desarrollo del **escenario nº 2** se parte de la consideración de un costo de venta actual en la UE de 1.25 €/Wp para paneles de silicio amorfo ([www.sfe-solar.com](http://www.sfe-solar.com), junio 2010) y suponiendo un tipo de cambio de \$17 pesos/€ como al inicio del año 2010, esto para obtener datos comparativos de cómo afecta la variación en el tipo de cambio en un mercado global:

Fabricación anual de 559, 238 módulos al 95% de rendimiento en planta y ventas al 100% desde el primer año, debido a la alta demanda de mercado de módulos FV.

Los resultados obtenidos en el **2º escenario** (Depreciación de maquinaria y equipo a 10 años) son:

Punto de equilibrio: \$ 364, 465,981.56 m.n., que es la venta necesaria para que la empresa opere sin pérdidas ni ganancias. Esto representa el 71% de las ventas anuales pronosticadas.

Punto de equilibrio en porcentaje de ventas: De las ventas totales, el 71.3% es empleado para el pago de costos fijos y el 28.7% es la utilidad de operación que obtiene la empresa.

Unidades mínimas a producir: 398, 868 paneles solares/año, ésta sería la cantidad mínima a producir para que no existan pérdidas ni ganancias. Esta producción representaría el 71.3% de la capacidad instalada de la planta.

Bajo este primer criterio, la empresa operaría con un mejor rango entre el punto de equilibrio y la capacidad máxima de producción de la planta, comparado con el escenario 1º.

Valor presente neto = -\$ 234, 651,388.69 m.n., se obtiene un resultado negativo, bajo el criterio del VPN, el proyecto no es aceptable, ya que las ganancias serían menores que las inversiones.

TIR: Mientras la TMAR= 7.5%, el proyecto arroja un valor de 3.22%, es decir si se realiza la inversión según lo planeado, se obtendrá una tasa por debajo de la TMAR de 4.28 puntos porcentuales, por lo tanto este resultado no es satisfactorio.

Período de recuperación: Durante los 10 primeros años proyectados no se tiene la recuperación esperada a la inversión inicial, por lo que el proyecto no es viable.

Los costos fijos y variables obtenidos son:

	<b>Costos Fijos</b>	<b>Costos Variables</b>
Costo Materia Prima		\$ 228,898,779.71
Costo Mantenimiento		\$ 3,010,815.37
Otros costos directos		\$ 1,303,319.70
Costo de Personal	\$ 13,024,800.00	
Depreciaciones	\$ 31,647,179.01	
Pago Luz, anual		\$ 2,040,000.00
Pago Agua, anual	\$ 10,000.00	
Pago Telefono, anual	\$ 54,000.00	
Gastos financieros	\$ 98,257,414.82	
Total	\$ 142,993,393.82	\$ 235,252,914.78



Costo de producción unitario (m.n.):  $CF+CV / \text{no. módulos} = \$ 772.35$

Costo de producción unitario (€):  $CF+CV / \text{no. módulos} = \$ 45.43$

Costo por Wp (€/Wp) =  $45.43 \text{ €} / 43 \text{ Wp} = 1.06 \text{ €/Wp}$

Margen de ganancia, respecto a costo de venta = 18%

A pesar de que el proyecto no es rentable por el alto costo de la inversión inicial del equipo para la fabricación de las celdas solares de silicio amorfo, los costos obtenidos de fabricación serían competitivos para el mercado ya establecido de la UE y emergente como el de EE.UU., además que por un mejor tipo de cambio, el margen de ganancia sería mayor.

Para el desarrollo del **escenario nº 3** se buscó cuanto sería el monto en el costo de la maquinaria y equipo que sería el adecuado para hacer rentable el proyecto, esto se podría lograr por ejemplo, negociando una mejor oferta con el proveedor de equipo y tecnología, cotizando con al menos dos fabricantes más, comparar y elegir la mejor opción e incentivando la relación industria/academia al comprar los equipos de fabricación de manera individual bajo la asesoría de expertos nacionales en el tema, por ejemplo investigadores del CINVESTAV, IIE UNAM entre otros:

Voltaje	Amperaje	Watts	Costo venta (m.n.)	Dimensiones
12 V	2.8 A	43 Wp	\$ 831.50	0.64 m X 1.25 m X 0.058m

Fabricación anual de 559, 238 módulos al 95% de rendimiento en planta y ventas al 100% desde el primer año, debido a la alta demanda de mercado de módulos FV.

Para este tercer escenario se estima una reducción en el monto total de inversión de 35%, este valor es posible lograrlo ya que se podría sensibilizar a las instancias de gobierno correspondientes, para obtener exenciones fiscales excepcionales, lo cual sería congruente en un año en el que México va a ser sede de la cumbre contra el cambio climático.

Un segundo planteamiento es que en el cálculo de los Estados de Pérdidas y Ganancias que se hacen de forma anual, el concepto de gasto financiero se redujo de 13% (caso 1º y 2º) al 9%, considerando obtener en el país mejores condiciones crediticias, impulsado por un apoyo gubernamental a energías renovables, como ya se hace en países desarrollados.

Los resultados obtenidos en el **3º escenario** (Depreciación de maquinaria y equipo a 10 años, con una reducción del 35% del monto de inversión dando un total de \$ 296, 595, 000.0 m.n.) son:

Punto de equilibrio: \$ 245, 835, 054.21 m.n., que es la venta necesaria para que la empresa opere sin perdidas ni ganancias. Esto representa el 53% de las ventas anuales pronosticadas.

Punto de equilibrio en porcentaje de ventas: De las ventas totales, el 52.87% es empleado para el pago de costos fijos y el 47.13% es la utilidad de operación que obtiene la empresa.

Unidades mínimas a producir: 295, 653 paneles solares/año, ésta sería la cantidad mínima a producir para que no existan pérdidas ni ganancias. Esta producción representaría el 52.8% de la capacidad instalada de la planta.

Bajo este primer criterio, la empresa operaría con un mejor rango entre el punto de equilibrio y la capacidad máxima de producción de la planta.

Valor presente neto = \$ 6, 344, 392.24 m.n., se obtiene un resultado positivo, bajo el criterio del VPN, el proyecto es aceptable, ya que las ganancias serían mayores que las inversiones.

TIR: Mientras la TMAR = 7.5%, el proyecto arroja un valor de 7.81%, es decir si se realiza la inversión según lo planeado, se obtendrá una tasa por arriba de la TMAR de 0.31 puntos porcentuales, por lo tanto este resultado es satisfactorio.

Indicador Beneficio / Costo = VPN a 10 años/ Inversión inicial = 0.02, el proyecto da una rentabilidad del 2% sobre la inversión inicial. Este resultado, también se puede interpretar en el sentido de que, por cada peso gastado en el proyecto a valores actualizados, se obtiene un beneficio de 2 centavos.

Período de recuperación: Se obtiene un período de recuperación de 8 años, bajo este criterio, es viable el proyecto, ya que es menor a los 10 años de fecha de corte.

Los costos fijos y variables obtenidos son:

	<b>Costos Fijos</b>	<b>Costos Variables</b>
Costo Materia Prima		\$ 228,898,779.71
Costo Mantenimiento		\$ 3,010,815.37
Otros costos directos		\$ 1,303,319.70
Costo de Personal	\$ 13,024,800.00	
Depreciaciones	\$ 30,278,279.01	
Pago Luz, anual		\$ 2,040,000.00
Pago Agua, anual	\$ 10,000.00	
Pago Telefono, anual	\$ 54,000.00	
Gastos financieros	\$ 78,096,843.83	
Total	\$ 121,463,922.83	\$ 235,252,914.78

Costo de producción unitario (m.n.):  $CF+CV / \text{no. módulos} = \$ 637.86$

Costo de producción unitario (€):  $CF+CV / \text{no. módulos} = \$ 41.23$

Costo por Wp (€/Wp) = 49.3 €/ 43 Wp = 0.96 usd/Wp

Margen de ganancia, respecto a costo de venta = 30%

Considerando al indicador financiero VPN, TIR y PR, para determinar la rentabilidad de un proyecto, el escenario n° 3 es viable, aunque el dato se obtiene de una suposición sobre el factor principal de inversión en equipo y el gasto financiero inicial, es posible encontrar mejores opciones, esto debido a que el mercado FV está creciendo a un muy buen ritmo lo que provoca mayor competitividad entre los principales fabricantes de equipo y menores costos.

En resumen:

Factores	1º Escenario	2º Escenario	3º Escenario
Punto de Equilibrio	\$ 398,058,131.26	\$ 364,465,981.56	\$ 245,835,054.21
Unidades mínimas a producir (paneles)	478, 723	398, 868	295, 653
Unidades mínimas a producir / capacidad total de planta	85.6%	71.3%	53%
VPN	<b>-\$ 424, 088, 330.80</b>	<b>-\$ 234, 651, 388.69</b>	\$ 6, 344, 392.24
TIR	0%	3.22%	7.81%
TMAR	7.5%	7.5%	7.5%
Período de recuperación	>10 años	>10 años	8 años
Consideraciones generales	Se parte de la consideración de un costo de venta actual en la UE de 1.25 €/Wp para paneles de silicio amorfo ( <a href="http://www.sfe-solar.com">www.sfe-solar.com</a> , junio 2010) y de acuerdo del tipo de cambio de \$15.47 pesos/€ (Banco de México, 17/06/2010).	Se parte de la consideración de un costo de venta actual en la UE de 1.25 €/Wp para paneles de silicio amorfo ( <a href="http://www.sfe-solar.com">www.sfe-solar.com</a> , junio 2010) y suponiendo un tipo de cambio de \$17 pesos/€ como al inicio del año 2010, esto para obtener datos comparativos de cómo afecta la variación en el tipo de cambio en un mercado global	Se parte de la consideración de un costo de venta actual en la UE de 1.25 €/Wp para paneles de silicio amorfo ( <a href="http://www.sfe-solar.com">www.sfe-solar.com</a> , junio 2010) y de acuerdo del tipo de cambio de \$15.47 pesos/€ (Banco de México, 17/06/2010). Supuestos: 35% de reducción en monto de inversión en equipo y tecnología, reducción en el gasto financiero inicial del 13% al 9%

Los indicadores financieros para la toma de decisión en un proyecto de inversión nos indican que el proyecto no es viable, para los dos primeros escenarios, esto debido principalmente por el alto costo de inversión inicial de equipo, y los flujos de efectivo generados por el proyecto no son suficientes para obtener valores de VPN positivos, generando pérdidas al final del período meta de recuperación.

Bajo las suposiciones hechas en el 3° escenario, el proyecto si es viable ya que obtenemos un VPN positivo, lo que indica generación de ganancias y al depender de los flujos de efectivo generados en el proyecto, la TIR es mayor a la tasa de descuento TMAR, por lo que se comprueba la viabilidad del proyecto.

Respecto al indicador de período de recuperación, en el 3° escenario se generó un valor menor a la fecha de corte, pero hay que tomar en consideración que este indicador no visualiza los flujos de efectivo, por lo que no es concluyente para la toma de decisión.

Más allá de los resultados obtenidos, este tipo proyectos que apoyarían la generación de energía a través de fuentes renovables, deberían ser considerados como prioridad por el gobierno y la iniciativa privada, exaltando los beneficios futuros que resultarían en cuanto a cambio climático, detonación de una nueva industria, independencia tecnológica e impulso del desarrollo sustentable en el país.

## **REFERENCIAS.**

1. Sapag, Nassir, (2007), Proyectos de Inversión. Formulación y evaluación, Pearson, México.
2. Ibídem
3. Doing Business en México 2009 (2009), disponible en [http://imco.org.mx/imco/docbase/archivosPublicaciones/archivoPublicacion\(11\).pdf](http://imco.org.mx/imco/docbase/archivosPublicaciones/archivoPublicacion(11).pdf), consultado el 12/05/2010.
4. Ibídem
5. Gobierno del Estado de Hidalgo (2009) Actualización al Plan Estatal de Desarrollo 2005 – 2011, disponible en, <http://info.hidalgo.gob.mx/NORMATECA/PDF/ACTUALIZPLANESTATAL%20DESARROLLO2005-2011.pdf><http://info.hidalgo.gob.mx/NORMATECA/PDF/ACTUALIZPLANESTATAL%20DESARROLLO2005-2011.pdf>, consultado el 24/02/2010.
6. Ibídem
7. Ibídem
8. Ibídem
9. Ibídem
10. SCT (2009), Comunicado de prensa 124 Arco Norte, disponible en <http://www.sct.gob.mx/despliega-noticias/article/comunicado-de-prensa-no-124-arco-norte-ejemplo-de-inversion-en-infraestructura-molinar-horcasit/>, consultado el 15/04/2010.
11. Gobierno del Estado de Hidalgo (2009), Ob. Ref. Cit. 5.
12. Gobierno del Estado de Hidalgo (2009), Ob. Ref. Cit. 5.
13. REN21 (2009), Renewables Global Status Report (2009 Update), disponible en [http://www.ren21.net/pdf/RE\\_GSR\\_2009\\_Update.pdf](http://www.ren21.net/pdf/RE_GSR_2009_Update.pdf), consultado el 07/06/2010.
14. Ibídem
15. Secretaría de Energía (2006), Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México, disponible en <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7157/1/ERM06.pdf>, consultado el día 05 de enero del 2010.
16. Secretaría de Energía (2009), Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2014, disponible en [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Prospectiva\\_electricidad%20\\_2009-2024.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva_electricidad%20_2009-2024.pdf), consultado el día 24 de febrero del 2010.
17. Secretaría de Energía (2006), Ob. Ref. Cit. 15
18. Banco Mundial (2008), Comercio Internacional y Cambio Climático. Perspectivas económicas legales e institucionales. Banco Mundial, EE.UU.- Ediciones Mayol, Colombia.
19. Secretaría de Energía (2006), Ob. Ref. Cit. 15
20. Mata, Juan (2006), “Iniciativa de Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía; Una Oportunidad para Impulsar la Investigación y el Desarrollo Tecnológico”, disponible en

[http://www.energia.fi-b.unam.mx/1er.../Ley\\_de\\_Energias\\_Renovables-SENER.ppt](http://www.energia.fi-b.unam.mx/1er.../Ley_de_Energias_Renovables-SENER.ppt), consultado el 02/06/2010.

21. Santandreu, Pol (2002), *Matemática Financiera*, Barcelona, Gestión 2000, 191 p.
22. *Ibíd*em
23. Didier, José (2010), *Período de recuperación de la inversión*, disponible en <http://www.pymesfuturo.com/pri.htm>”, consultado el 01/07/2010.

## CONCLUSIONES.

La base fundamental de esta tesis es un estudio de rentabilidad financiera de un proyecto, consistente en la fabricación de celdas solares de silicio amorfo en México, se cuantificaron las inversiones y costos, así como los ingresos derivados de la venta de tal producto, sobre los cuales se aplicaron las herramientas pertinentes para la evaluación financiera, a partir de cuyos indicadores se puede conocer si el proyecto es viable o no.

El monto total de inversión para la puesta en marcha de una planta de celdas solares de silicio amorfo con capacidad de 24 MW/año es de \$ 597, 120,863.89 m.n. Se estimo un nivel de ventas a 10 años de \$ 4, 650, 047, 340.00 m.n.

La Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento calculada es de 7.5%. Las variables críticas son la demanda, la oferta, precio, costo.

El VPN y la TIR son los indicadores más importantes para evaluar la rentabilidad financiera de un proyecto. Como se ha mostrado, lo que se obtiene en este proyecto revela que, al someter a las condiciones actuales del mercado financiero, el proyecto no sería rentable en sentido estricto.

Cabe aclarar que no es viable en términos del costo de inversión establecido por ENERGO SOLAR, pero el estudio nos permite ver cuáles son los parámetros financieros importantes o críticos para hacer realizable el proyecto, así como el nivel de costo a negociar con esta u otra empresa para los equipos requeridos para la producción de módulos de a-Si, de forma que el proyecto sea rentable.

Se demuestra la viabilidad financiera del proyecto al realizar dos supuestos, una reducción del 35% en el costo de equipo y tecnología propuesto por el proveedor, que podría ser factible debido al gran crecimiento de mercado y caída en costos por nuevos proveedores, y posibles beneficios crediticios y de apoyo a nuevos negocios en especial en ER por parte del gobierno local.

Proyectos como éste deben ser apoyados en tasas de interés preferenciales y subsidios fiscales, que le permita despegar a una rama industrial que contribuiría a frenar el grave deterioro ambiental que vive el país y el mundo.

El mercado potencial elegido tiende a continuar creciendo en los próximos años a un ritmo entre 30 y 35% anual, por lo que es de suma importancia, incrementar la presencia del país.

México al igual que otros países tiene una dependencia de las fuentes de energía no renovables, como el petróleo y gas natural. Pero es posible, considerando los recursos naturales con que cuenta el país, utilizar fuentes renovables tales como la proveniente de la fuerza del aire y agua, de igual forma emplear nuevas tecnologías como los biocombustibles y el hidrógeno.

En especial, en los últimos años se ha demostrado que fuentes como la energía del sol son confiables y económicas a largo plazo, por lo que se debe

apostar por la inversión en este tipo de tecnologías, la cual está por demás desaprovechada, ya que tenemos una condición privilegiada al tener un grado de insolación elevado respecto a países que ya ocupan con éxito la energía solar, no obstante contar con pocas horas promedio de luz solar por día.

Tomando como referencias los casos de éxito de países como Alemania, España y Japón, en donde, los habitantes, utilizan paneles solares para generar su propia energía eléctrica y vender sus excedentes a la red eléctrica del gobierno; en el caso de México esto podría detonar una industria con beneficios económicos y ecológicos directos e indirectos.

Desde la creación de nuevos empleos entre las personas que se dedicarían a producir las celdas y paneles solares, los instaladores, y demás insumos necesarios, hasta los empleos indirectos que se estimularían en la cadena productiva. Además de las ventajas de los habitantes de tener un suministro limpio, seguro y confiable, apoyando a disminuir la cantidad de gases contaminantes a la atmosfera, creando un círculo virtuoso que beneficiaría a muchos.

Hoy en día se está comprobando que la tecnología de silicio amorfo, es un método confiable y de un costo bajo, respecto a la tecnología líder de celdas solares de silicio cristalino para desarrollar proyectos robustos, como por ejemplo el generar la energía eléctrica que consume una casa habitación. Aún existen algunos puntos susceptibles de mejora para incrementar la eficiencia, pero estoy seguro que en breve se tendrán los resultados esperados.

Estamos ante una situación crítica respecto a la calidad del medio ambiente a nivel mundial, en los últimos años la humanidad ha generado indiscriminadamente agentes contaminantes en pro del desarrollo económico, pero actualmente se reconoce la necesidad de avanzar en el desarrollo sustentable, por lo que el uso de fuentes alternas de energía se convierte cada vez más en una prioridad para cualquier nación.

El país requiere de innovar en nuevos procesos de fuentes de energía alterna, ya que de no ser así, continuaríamos con el rezago tecnológico y dependiendo científica y tecnológicamente de los países más avanzados.

El haber generado este estudio de inversión permite tener una clara idea de los factores que están involucrados y que deben tomarse en cuenta para llevar a cabo y poner en marcha un proyecto de inversión. Muestra también qué datos financieros son los que nos indican la viabilidad de un proyecto y tener fundamentos para tomar una decisión.

Este proyecto de tesis ha generado el impulso para continuar con una investigación futura, ya sea continuando con su desarrollo en un doctorado o llevándolo a la práctica en el sector público o privado.



## **BIBLIOGRAFÍA.**

1. Actualización al Plan Nacional de Desarrollo 2005 – 2011, Gobierno del Estado de Hidalgo, disponible en, <http://info.hidalgo.gob.mx/NORMATECA/PDF/ACTUALIZPLANESTATAL%20DESARROLLO2005-2011.pdf><http://info.hidalgo.gob.mx/NORMATECA/PDF/ACTUALIZPLANESTATAL%20DESARROLLO2005-2011.pdf>, consultado el 24/02/2010.
2. Arjona, J., Torres, M. (2006), Energías Renovables y desarrollo: Análisis de la cooperación española, Universidad de Córdoba. ETEA.
3. Banco Mundial (2008), Comercio Internacional y Cambio Climático. Perspectivas económicas legales e institucionales. Banco Mundial, EE.UU.-Ediciones Mayol, Colombia.
4. Bartlet, Ans C. (2002), Managing Across Borders, Harvard Business School Press.
5. Calva, José Luis (2008). Globalización y bloques económicos: mitos y realidades, agenda para el desarrollo, Vol.1, México, Porrúa UNAM.
6. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (2008), Energía fotovoltaica, disponible en [http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/sit\\_actual\\_renovables/fotovoltaica.htm](http://www.energiasrenovables.ciemat.es/suplementos/sit_actual_renovables/fotovoltaica.htm), consultado el 19.04.09.
7. Centro Mario Molina (2009), Los Biocombustibles en México, disponible en <http://www.centromariomolina.org/imagescont/highlights/PosturaCMM.pdf>, consultado el 26/01/2010.
8. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) (2008)
9. Comisión Federal de Electricidad (2009), Nucleoeléctricas, disponible en <http://www.cfe.gob.mx/QuienesSomos/publicaciones/genElectricidad/Paginas/Nucleoelectricas.aspx>, consultado el 05/02/2010.
10. Cubas, Paola, “Midiendo el progreso de las sociedades”, Midiendo el Progreso de las Sociedades, Foro Consultivo Científico y Tecnológico 2008. México
11. Decelis, Rafael (2008), Creatividad para el Desarrollo – México País Líder 2028, México D.F., COSTA-AMIC.
12. Didier, José (2010), Período de recuperación de la inversión, disponible en <http://www.pymesfuturo.com/pri.htm>, consultado el 01/07/2010.
13. Fundación este País (2007), México ante el reto de la Economía del Conocimiento, disponible en [“http://www.foromexicanodelacultura.org/files/IEC%202007\\_Principales%20resultados.pdf”](http://www.foromexicanodelacultura.org/files/IEC%202007_Principales%20resultados.pdf), consultado el 01/02/2010.
14. Fundación para el Desarrollo Sustentable (2010), “¿Qué es el Desarrollo Sustentable?” disponible en <http://www.fundacionsustentable.org/contentid-70.html>, consultado el 15/01/2010.
15. German Solar Energy Society (DGS) (2005). Planning and Installing Photovoltaic Systems, London UK, James & James.
16. Global Renewable Energy Forum (2009), Promoviendo las Energías Renovables, disponible en

- "<http://www.grefmexico2009.org/index.php?id=20&L=1>", consultado el 10 dic. 09.
17. Herman, D. & Cobb, J. (1989), *For the Common Good, Redirecting the Economy Toward Community, the Environment, and a Sustainable Future*, Boston, Beacon Press.
  18. Hill, Charles, (2007), *Negocios internacionales competencia en un mercado global*, 6ª Ed., México, Mcgraw-Hill / Interamericana de México.
  19. Krugman, P. et al. (2009). *La crisis económica mundial*. México, Random House Mondadori.
  20. López, S.F. (2004), *Globalización-Mundialización: entre el Imperio y la Democracia*, En: *Escenarios Futuros sobre la Globalización y el Poder Mundial*, México, FCPS-UNAM.
  21. Luque, A., Hegedus, S. (2003), *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, Chichester, England, Ed. Wiley.
  22. Lorenz, P (2008) et. all, "The economics of solar power", disponible en [http://www.masstech.org/renewableenergy/public\\_policy/DG/resources/2008-06-PV-Economics-McKinsey.pdf](http://www.masstech.org/renewableenergy/public_policy/DG/resources/2008-06-PV-Economics-McKinsey.pdf), consultado el 07/06/2010.
  23. Martínez González-Tablas, Ángel. (2007). *Economía Política Mundial - I Las Fuerzas Estructurantes*. Barcelona, Editorial Ariel;
  24. Menéndez, E. (2005), *La crisis de hidrocarburos*, *Revista Trimestral Latinoamericana y Caribeña de Desarrollo Sustentable* No. 12, Vol. 3, disponible en [http://www.revistafuturos.info/futuros\\_12/hidrocarburo5.htm](http://www.revistafuturos.info/futuros_12/hidrocarburo5.htm), consultado el 28/01/10.
  25. Morales, A. (2004), *Diseño óptimo y realización de celdas solares de silicio para producción industrial. Estado del arte de la investigación en México*. *Revista Mexicana de Física*, México, 50(5).
  26. Mustafa, Balat (2006), *Energy and Greenhouse Gas Emissions: A Global Perspective*, *Energy Sources, Part B*, 1:157-170.
  27. Nivón, E. (2003), *Cultura e integración económica. México a siete años del Tratado de Libre Comercio*, disponible en <http://www.oei.es/pensariberoamerica/ric02a02.htm>, consultado el 10 dic. 09.
  28. PNUD, disponible en <http://www.undp.org.mx/>
  29. SAGARPA (2010), *Promueven SAGARPA y BM la utilización de energías renovables en el campo mexicano*, disponible en <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/2010/Paginas/B034.aspx>, consultado el 26/07/2010.
  30. Sánchez, M. (2008), *Energía Solar Fotovoltaica*, 1ª Edición, México, Ed. Limusa.
  31. Santandreu, Pol (2002), *Matemática Financiera*, Barcelona, *Gestión* 2000, 191 p.
  32. Santiso, Javier (2008), *La emergencia de las multilatinas*, *Revista de la CEPAL* 95.
  33. Sapag, Nassir, (2007), *Proyectos de Inversión. Formulación y evaluación*, México, Ed. Pearson.

34. Secretaría de Energía (2006), Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México, disponible en <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/7157/1/ERM06.pdf>, consultado el día 05 de enero del 2010.
35. Secretaria de Energía (2006), Prospectiva del Sector Eléctrico 2005 – 2014, disponible en [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Electrico\\_2005\\_2014.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Electrico_2005_2014.pdf), consultado el día 15 de julio de 2009.
36. Secretaría de Energía (2009), Prospectiva del Sector Eléctrico 2009-2014, disponible en [http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Prospectiva\\_electricidad%20\\_2009-2024.pdf](http://www.sener.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Prospectiva_electricidad%20_2009-2024.pdf), consultado el día 24 de febrero del 2010.
37. Sollman, D. (2009), Metallurgical silicon could become a rare commodity, disponible en [http://www.photon-magazine.com/news\\_archiv/details.aspx?cat=News\\_PI&sub=worldwide&pub=4&parent=1555](http://www.photon-magazine.com/news_archiv/details.aspx?cat=News_PI&sub=worldwide&pub=4&parent=1555), consultado el 23 de Abril 2009.
38. Stiglitz, J. (2010). *Caida libre - El libre mercado y el hundimiento de la economía mundial*-. Madrid, Taurus, 472 págs.
39. Takahashi, K., Konagai, M. (1986), Amorphous Silicon Solar Cells, London, UK, North Oxford Academic Publishers LTD.
40. Teorema Ambiental, Impulsa México carboeléctricas, disponible en <http://www.teorema.com.mx/energia/impulsa-mexico-carboelectricas/>, consultado el 05/02/2010.
41. The National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (2004), Will we have enough materials for energy-significant PV production?, USA, disponible en <http://www1.eere.energy.gov/solar/>, consultado el 13 de Julio 2009.
42. UNCTAD (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo) (2006): *World Investment Report 2006. fdi from Developing and Transition Economies: Implications for Development*, uctad/wir/2006, Ginebra, Naciones Unidas. Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: E.06.II.D.11.
43. UNESCO (2003), Solar Electricity, Chichester, England. Ed. John Wiley & Sons Ltd.
44. Wenham, S., et al. (2007) Applied Photovoltaics, Cornwall, UK, Ed. Earthscan.