



***“BENEFICIOS AMBIENTALES, SOCIALES Y TECNOLÓGICOS, POR LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO ENERGÉTICOS, MEDIANTE EL EMPLEO DE ENERGÍAS RENOVABLES. (SISTEMA FOTOVOLTAICO).”***

TESIS

Que para obtener el título de  
Ingeniero Químico PRESENTA

**LUIS EDUARDO DURÁN LAGUNA**

Bajo la dirección de  
**IQ. FRANCISCO MARTÍN MENDOZA MÉNDEZ**

MÉXICO D.F.

AGOSTO 2012

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA  
INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
\*ZARAGOZA\*

CARRERA: INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE  
ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

PRESENTE

Distinguido señor Director:

Con respecto a la Tesis Profesional presentada por el alumno(a):

**Durán Laguna Luis Eduardo**

---

Denominada:

**Beneficios ambientales, sociales y tecnológicos, por la implementación de sistemas de abastecimiento energéticos, mediante el empleo de energías renovables. (Sistema fotovoltaico).**

Me permito comunicarle que después de haberlo revisado, he decidido otorgarle mi **Voto de Aceptación**, en vista de que reúne los requisitos establecidos por la Legislación Universitaria.

Del mismo modo, me doy por enterado(a) de haber sido incluido(a) en el jurado del examen profesional que sustentará el mencionado(a) alumno(a).

Aprovecho la ocasión para reiterarle a usted las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
México, D. F., 9 de mayo de 2012

---

DR. ALEJANDRO ROGEL RAMÍREZ



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
\*ZARAGOZA\*

CARRERA: INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE  
ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

PRESENTE

Distinguido señor Director:

Con respecto a la Tesis Profesional presentada por el alumno(a):

**Durán Laguna Luis Eduardo**

---

Denominada:

**Beneficios ambientales, sociales y tecnológicos, por la implementación de sistemas de abastecimiento energéticos, mediante el empleo de energías renovables. (Sistema fotovoltaico).**

Me permito comunicarle que después de haberlo revisado, he decidido otorgarle mi **Voto de Aceptación**, en vista de que reúne los requisitos establecidos por la Legislación Universitaria.

Del mismo modo, me doy por enterado(a) de haber sido incluido(a) en el jurado del examen profesional que sustentará el mencionado(a) alumno(a).

Aprovecho la ocasión para reiterarle a usted las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
México, D. F., 9 de mayo de 2012.

  
I. Q. FRANCISCO MARTÍN MENDOZA MÉNDEZ



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
\*ZARAGOZA\*

CARRERA: INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE  
ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

PRESENTE

Distinguido señor Director:

Con respecto a la Tesis Profesional presentada por el alumno(a):

**Durán Laguna Luis Eduardo**

---

Denominada:

**Beneficios ambientales, sociales y tecnológicos, por la implementación de sistemas de abastecimiento energéticos, mediante el empleo de energías renovables. (Sistema fotovoltaico).**

Me permito comunicarle que después de haberlo revisado, he decidido otorgarle mi **Voto de Aceptación**, en vista de que reúne los requisitos establecidos por la Legislación Universitaria.

Del mismo modo, me doy por enterado(a) de haber sido incluido(a) en el jurado del examen profesional que sustentará el mencionado(a) alumno(a).

Aprovecho la ocasión para reiterarle a usted las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
México, D. F., 9 de mayo de 2012

---

I. Q. EDUARDO VAZQUEZ ZAMORA



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
\*ZARAGOZA\*

CARRERA: INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE  
ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

PRESENTE

Distinguido señor Director;

Con respecto a la Tesis Profesional presentada por el alumno(a):

**Durán Laguna Luis Eduardo**

---

Denominada:

**Beneficios ambientales, sociales y tecnológicos, por la implementación de sistemas de abastecimiento energéticos, mediante el empleo de energías renovables. (Sistema fotovoltaico).**

Me permito comunicarle que después de haberlo revisado, he decidido otorgarle mi **Voto de Aceptación**, en vista de que reúne los requisitos establecidos por la Legislación Universitaria.

Del mismo modo, me doy por enterado(a) de haber sido incluido(a) en el jurado del examen profesional que sustentará el mencionado(a) alumno(a).

Aprovecho la ocasión para reiterarle a usted las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
México, D. F., 9 de mayo de 2012

---

M. en I. RAFAEL SÁNCHEZ DIRZO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
\*ZARAGOZA\*

CARRERA: INGENIERIA QUIMICA

DIRECTOR DE LA FACULTAD DE  
ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

PRESENTE

Distinguido señor Director:

Con respecto a la Tesis Profesional presentada por el alumno(a):

**Durán Laguna Luis Eduardo**

---

Denominada:

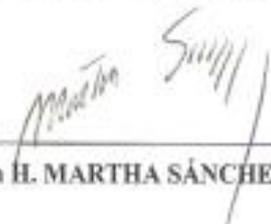
**Beneficios ambientales, sociales y tecnológicos, por la implementación de sistemas de abastecimiento energéticos, mediante el empleo de energías renovables. (Sistema fotovoltaico).**

Me permito comunicarle que después de haberlo revisado, he decidido otorgarle mi **Voto de Aceptación**, en vista de que reúne los requisitos establecidos por la Legislación Universitaria.

Del mismo modo, me doy por enterado(a) de haber sido incluido(a) en el jurado del examen profesional que sustentará el mencionado(a) alumno(a).

Aprovecho la ocasión para reiterarle a usted las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
México, D. F., 9 de mayo de 2012

  
M. en H. MARTHA SÁNCHEZ DETTMER

## AGRADECIMIENTOS

Antes que nada quiero dar gracias a la vida y a Dios, pues a pesar de todas las circunstancias adversas me han permitido llegar a este momento tan importante en mi vida.

A mis padres, Ariadna y Eduardo por el cariño y apoyo incondicional que siempre han tenido hacia mí. Madre gracias por el aliento que me dabas para seguir adelante siempre muy a tu manera: “Te tienes que titular cab#\$%&\$!!!” y a ti padre por ese ejemplo de inquietud que llevas dentro, el cual motiva a desarrollarse en diversos ámbitos. A mi hermana Denisse por todo el aporte y cariño que ha tenido hacia mí, siempre estando cerca cuando te necesito. Los amo!!!

A Karla y Emiliano, gracias Karlangas por todo el amor que me has brindado, pues a pesar de las dificultades estamos juntos, y a ti Emiliano por esa sonrisa que brindas a diario para seguir superándome día tras día, espero cuando seas grande te sientas orgulloso de mí. Los amo!!!

Por último pero no menos importante a toda mi familia y amigos, a mis amigos de la universidad que por unos cuantos años se convirtieron en mi familia y espero que así siga siendo.

Al Ingeniero Francisco por su paciencia y todo el apoyo que me ha brindado para realizar este trabajo. A mis profesores que han aportado las bases que me han guiado para llegar hasta aquí.



**INTRODUCCIÓN**

PROBLEMÁTICA.....	
OBJETIVO.....	



**CAPÍTULO 1**

**GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y ENERGÍAS RENOVABLES.**

1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	1
1.1.1 GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	1
1.1.2 ENERGÍAS RENOVABLES.....	2
1.2 DEFINICIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	3
1.2.1 INTRODUCCIÓN.....	3
1.2.2 GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD).....	4
1.2.2.1 DEFINICIONES MÁS ILUSTRATIVAS SEGÚN LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA (CONUEE).....	5
1.3 SITUACIÓN MUNDIAL ACTUAL.....	5
1.3.1 ENERGÍAS RENOVABLES.....	5
1.3.2 LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO.....	9
1.3.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	11
1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	13
1.5 BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	14
1.5.1 BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA EL USUARIO.....	14
1.5.2 BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA LA RED.....	14
1.6 BERRERAS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	14
1.7 GENERACIÓN DISTRIBUIDA CONTRA SISTEMAS DE GENERACIÓN CONVENCIONALES.....	15

**CAPITULO 2**

**EFFECTOS AMBIENTALES.**

2.1 ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE.....	18
2.2 EFECTO INVERNADERO.....	18
2.3 CALENTAMIENTO GLOBAL.....	19
2.4 EL PROTOCOLO DE KIOTO: ACUERDO HACIA UNA TRANSICIÓN POSIBLE.....	19
2.5 LA CONFERENCIA DE BONN Y LOS ENFOQUES DE POLÍTICA HACIA LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	20
2.6 EMISIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	22
2.6.1 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	22
2.6.2 DIÓXIDO DE CARBONO (CO <sub>2</sub> ).....	23
2.6.3 METANO.....	24
2.6.4 PRECURSORES DE LLUVIAS ACIDAS.....	24
2.6.4.1 EMISIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO <sub>2</sub> ).....	24
2.6.4.2 EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO <sub>x</sub> ).....	25
2.6.5 INDICADORES ENERGÉTICOS AMBIENTALES.....	26
2.7 LOS ESCENARIOS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES.....	27
2.7.1 LOS ESCENARIOS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.....	27
2.8 CO-BENEFICIOS DE LAS ACCIONES DE MITIGACIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO.....	28
2.9 IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS CON LA OPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.....	29
2.10 SMOG Y LLUVIA ACIDA.....	30
2.11 IMPACTOS A LA SALUD Y LOS ECOSISTEMAS.....	30
2.12 IMPACTOS AMBIENTALES MÁS ALLÁ DE LA GENERACIÓN LOCAL.....	30



### CAPITULO 3

#### SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

3.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ECONOMÍA Y EL CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	31
3.2 TENDENCIA MUNDIAL EN LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES Y OTRAS FUENTES PRIMARIAS PARA LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.....	32
3.2.1 ENERGÍA RENOVABLE.....	33
3.3 MARCO REGULATORIO DEL SECTOR ELÉCTRICO.....	34
3.3.1 MARCO CONSTITUCIONAL.....	34
3.4 EJES RECTORES DE LA ESTRATEGIA NACIONAL DE ENERGÍA.....	35
3.5 MARCO REGULATORIO DEL SECTOR ELÉCTRICO.....	36
3.6 ÓRGANO REGULATORIO.....	37
3.7 MODALIDADES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA QUE NO CONSTITUYE SERVICIO PÚBLICO.....	38
3.8 INSTRUMENTOS DE REGULACIÓN.....	39
3.8.1 PARA FUENTES FIRMES.....	40
3.8.2 PARA FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE.....	40
3.8.3 COMPRA-VENTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	41
3.9 AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA.....	42
3.9.1 NORMALIZACIÓN.....	43
3.9.2 HORARIO DE VERANO.....	44
3.10 PROGRAMAS EN INSTALACIONES.....	44
3.11 PROGRAMA DE INCENTIVOS Y DESARROLLO DEL MERCADO.....	45
3.11.1 SECTOR DOMÉSTICO.....	46
3.12 OTRAS ACCIONES.....	47
3.13 CONFIABILIDAD.....	47
3.14 NECESIDAD DE MARCOS REGULATORIOS PARES.....	48
3.15 ESTRATEGIAS DE FOMENTO Y PROMOCIÓN.....	48
3.15.1 LAS POLÍTICAS PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO.....	48
3.15.1.1 EL TRIPLE OBJETIVO DE LAS POLÍTICAS.....	48
3.15.1.2 LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS POLÍTICAS.....	49
3.16 MARCO LEGAL, REGULATORIO Y NORMATIVO EN MÉXICO.....	49
3.16.1 CONSTITUCIÓN.....	49
3.16.2 TRATADOS INTERNACIONALES.....	50
3.16.3 LA LEY PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL FINANCIAMIENTO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA (LAERFTE) Y SU REGLAMENTO.....	50
3.16.4 LA LEY DE PROMOCIÓN Y DESARROLLO DE LOS BIONERGÉTICOS.....	50
3.16.5 LA LEY PARA EL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA (LASE).....	51
3.16.6 INSTRUMENTOS REGULATORIOS PARA EL SECTOR ELÉCTRICO.....	51
3.16.6.1 CONTRATO DE INTERCONEXIÓN PARA FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE DE TIPO INTERMITENTE (CIEI).....	51
3.16.6.2 CONTRATO DE INTERCONEXIÓN PARA FUENTE DE ENERGÍA SOLAR EN PEQUEÑA ESCALA.....	51
3.16.6.3 MODELO DE CONTRATO DE COMPROMISO DE COMPRAVENTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA PEQUEÑO PRODUCTOR EN EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL.....	51
3.16.7 GESTIONES PARA LA REALIZACIÓN DE PROYECTOS.....	52
3.17 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA.....	52
3.17.1 EL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO Y EL PROGRAMA SECTORIAL DE ENERGÍA.....	52
3.17.2 INSTRUMENTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS.....	53





3.17.3 INSTRUMENTOS DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO.....	53
3.17.4 PROGRAMAS DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL.....	53
3.17.5 RESUMEN DE POLÍTICAS PROGRAMAS Y PROYECTOS.....	54
3.18 ESCENARIOS Y CONSIDERACIONES FUTURAS.....	54

**CAPITULO 4**

**TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

4.1 ANÁLISIS DE SISTEMAS PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	56
4.2 TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN.....	56
4.2.1 MOTOR ALTERNATIVO.....	57
4.2.2 TURBINA DE GAS.....	59
4.2.3 MINI-HIDRÁULICA.....	60
4.2.3.1 COSTOS.....	61
4.2.3.2 ESTADO ACTUAL.....	61
4.2.3.3 POTENCIAL.....	61
4.2.4 EÓLICA.....	62
4.2.4.1 COSTOS.....	63
4.2.4.2 ESTADO ACTUAL.....	63
4.2.4.3 POTENCIAL.....	64
4.2.5 SOLAR TÉRMICA.....	64
4.2.5.1 COSTOS.....	65
4.2.5.2 ESTADO ACTUAL.....	65
4.2.5.3 POTENCIAL.....	65
4.2.6 SOLAR FOTOVOLTAICA.....	66
4.2.6.1 COSTOS.....	67
4.2.6.2 ESTADO ACTUAL.....	68
4.2.6.3 POTENCIAL.....	68
4.2.7 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	68
4.2.8 BIOMASA.....	69
4.2.9 MICROTURBINAS.....	72
4.2.10 PILAS DE COMBUSTIBLE.....	73
4.2.11 TECNOLOGÍAS EMERGENTES.....	74
4.2.11.1 MARINA.....	74
4.2.11.2 GEOTÉRMICA.....	76
4.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO.....	76
4.4 SISTEMAS DE INTERCONEXIÓN A LA RED.....	79
4.4.1 ARQUITECTURA Y COMPONENTES.....	79

**CAPITULO 5**

**SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

5.1 ¿QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA?.....	81
5.2 FUNCIONAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA.....	81
5.2.1 ¿QUÉ ES UN SISTEMA FOTOVOLTAICO?.....	81
5.2.2 CELDAS FOTOVOLTAICAS.....	82
5.2.3 MARCO DE VIDRIO Y ALUMINIO.....	83
5.2.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	83
5.2.4.1 TIPOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	84
5.2.4.1.1 MÓDULOS DE SILICIO CRISTALINO.....	84
5.2.4.1.2 MÓDULOS DE PELÍCULA DELGADA.....	85
5.2.5 POTENCIA.....	85



5.2.6 BATERÍAS.....	86
5.2.6.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS.....	87
5.2.6.2 MANTENIMIENTO Y VIDA ÚTIL.....	88
5.2.7 EL REGULADOR O CONTROLADOR DE CARGA.....	88
5.2.8 EL INVERSOR.....	89
5.2.9 OTROS ELEMENTOS EN LAS APLICACIONES.....	89
5.3 SITIO E INSTALACIÓN.....	90
5.3.1 SOMBREADOS.....	91
5.3.2 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO.....	92
5.4 APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	92
5.4.1 SISTEMAS INDIVIDUALES CD PARA APLICACIONES DOMESTICAS.....	92
5.4.2 SISTEMAS INDIVIDUALES CA PARA APLICACIONES DOMESTICAS.....	93
5.4.3 SISTEMAS AISLADOS PARA USOS PRODUCTIVOS.....	94
5.4.4 SISTEMAS CENTRALIZADOS AISLADOS DE LA RED.....	94
5.4.5 SISTEMAS CENTRALIZADOS CONECTADOS A LA RED.....	95
5.5 COSTOS.....	95
5.5.1 COSTOS DE INVERSIÓN.....	96
5.5.2 COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN.....	97
5.5.3 COSTOS DE REEMPLAZO.....	97
5.5.4 COSTO DE ENERGÍA.....	97
5.6 FINANCIAMIENTO.....	99
5.6.1 CRÉDITO DEL PROVEEDOR.....	99
5.6.2 ALQUILER DE EQUIPO.....	99
5.7 INCENTIVOS.....	99
5.7.1 MEDICIÓN NETA.....	99
5.7.2 DEPRECIACIÓN ACELERADA.....	100
5.7.3 APOYO FINANCIAMIENTO.....	101
5.8 RENTABILIDAD.....	101
5.9 ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA CAPACIDAD A INSTALAR.....	103
5.9.1 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD POR REQUERIMIENTO ESPECIFICO.....	103
5.9.2 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD POR DISPONIBILIDAD DE ESPACIO.....	105
5.9.3 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD POR LIMITACIÓN PRESUPUESTAL.....	106
5.10 TRÁMITE DE INTERCONEXIÓN.....	107
5.10.1 REQUISITOS.....	107
5.10.2 CONTRATO DE INTERCONEXIÓN.....	107
5.10.3 PASOS PARA REALIZAR EL CONTRATO DE INTERCONEXIÓN.....	107
5.11 ASPECTOS AMBIENTALES.....	108
5.12 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	109
5.12.1 VENTAJAS.....	109
5.12.2 DESVENTAJAS.....	109
5.13 USOS FRECUENTES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA.....	110
5.14 BARRERAS.....	110
5.15 OPORTUNIDADES.....	111
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>114</b>



## **INTRODUCCIÓN.**

### **PROBLEMÁTICA.**

En la actualidad se ha incrementado una conciencia sobre la contaminación que se produce al generar energía eléctrica de forma convencional, es de ahí de donde se ha intentado en la mayoría de los países desarrollados y subdesarrollados una forma más eficiente y mucho más amigable con nuestro medio ambiente producir energía eléctrica. Hoy en día en México existen una gran variedad de fuentes de generación de energía eléctrica por medio de fuentes renovables, las cuales permiten producir energía eléctrica de una manera distribuida presentando así una serie de beneficios, en cuanto a eficiencia y por ser más amigable con el ambiente.

El problema que conlleva la generación de energía eléctrica de forma convencional no sólo tiene que ver con las tecnologías disponibles, también tiene que ver con la cultura que tenemos acerca del uso de la energía. Formar una cultura del cuidado de los recursos energéticos, la cual tenemos que combinarla con tecnologías renovables de generación de energía eléctrica las cuales ya están disponibles en nuestro país.

### **OBJETIVO.**

Este trabajo es una recopilación de una serie de documentos, formando una guía práctica sobre los diferentes temas que tienen que ver con los sistemas fotovoltaicos, abarcando aspectos ambientales, sociales y tecnológicos, para que cualquier persona que tenga la oportunidad de adentrarse en el documento tenga las bases para dimensionar su propio sistema fotovoltaico. Aborda, de manera teórica, una manera eficiente y amigable con el medio ambiente la generación de energía eléctrica en cualquier parte de nuestro país.

Esta alternativa tecnológica que se presenta consiste en la generación de energía eléctrica lo más cerca posible al lugar de consumo, justo como se hacía al inicio de la industria de generación de energía eléctrica, utilizando la energía que nos proporciona el sol y captándola a través de tecnología fotovoltaica, podemos obtener una serie de beneficios que se plasmarán a continuación:

- El territorio mexicano dispone de abundante radiación solar.
- La tecnología fotovoltaica permite soluciones modulares y autónomas.
- La operación de los sistemas fotovoltaicos es amigable con el medio ambiente.
- Los sistemas tienen una vida útil larga (más de 20 años).
- El mantenimiento es sencillo y tiene costos muy bajos.





- Los sistemas fotovoltaicos han experimentado una reducción de precios que los hace más accesibles para las poblaciones rurales y se espera que sigan bajando.
- En México ya existen distribuidores de equipos fotovoltaicos que ofrecen sus productos y la instalación de los mismos.
- La instalación de los sistemas fotovoltaicos individuales es simple, rápida y sólo requiere de herramientas menores y equipos de medición básicos.

En el capítulo No. 1 se presenta un panorama general de la Generación Distribuida y las Energías Renovables, sus definiciones, así como su situación actual, ventajas y desventajas.

En el capítulo No. 2 abordamos temas referentes a los efectos ambientales de la generación de energía eléctrica a partir de medios convencionales y por medio de energías renovables.

En el capítulo No. 3 se dará a conocer el Sistema Eléctrico Nacional, el cual es importante tener en cuenta, ya que se presenta el marco regulatorio, estrategias y tendencias.

En el capítulo No. 4 se tendrá un acercamiento a diferentes tecnologías con las que ya podemos contar para la generación distribuida, cabe mencionar que algunas de las tecnologías funcionan con las energías tradicionales, ya sea gas LP, Gas Natural, diesel, gasolina, etc. Así como tecnologías que funcionan mediante fuentes renovables.

Para terminar en el capítulo No. 5 se propone el uso de la tecnología fotovoltaica para la generación distribuida, se abordan los aspectos técnicos y financieros de dicha tecnología, así como los componentes de un sistema fotovoltaico. Y también se plasman unos ejemplos prácticos para dimensionar un sistema fotovoltaico.



## CAPÍTULO 1 GENERACIÓN DISTRIBUIDA Y ENERGÍAS RENOVABLES.



### 1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

#### 1.1.1 GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

Los estudios básicos sobre la electricidad y la aparición de los primeros motores eléctricos en el siglo XIX, habrían de cambiar radicalmente la forma de hacer las cosas. Las bandas y las poleas, utilizadas originalmente para transmitir la fuerza mecánica del agua o de los motores de vapor a las máquinas de producción, fueron sustituidas por cables conductores de electricidad como el medio más conveniente para llevar energía desde el punto de transformación inicial al punto de uso final.

Se tiene noticia de que en las primeras aplicaciones de la electricidad las distancias entre tales puntos eran cortas, pues el generador eléctrico era colocado muy cerca del dispositivo que utilizaba la electricidad. Así, en las primeras instalaciones de alumbrado público en Europa, cada luminaria contaba con su propio generador eléctrico. El esquema de generación punto por punto se repetía en los hogares y en las fábricas, pero conforme el número de aplicaciones fue creciendo, se vio la necesidad de buscar nuevos esquemas tecnológicos.

Los desarrollos en la tecnología de generación y de transmisión eléctrica, combinados con la necesidad de las empresas eléctricas de rendir mejores dividendos a los inversionistas, constituyeron el principal motor para la conformación del sistema eléctrico centralizado que conocemos hoy en día. En este esquema, grandes centrales de generación producen cantidades impresionantes de electricidad, la cual es transportada hasta los puntos más remotos por medio de extensas redes de transmisión y distribución, de manera análoga a como las arterias y las venas distribuyen la sangre en el cuerpo humano.

Contrario a lo que ocurría en las primeras épocas de la industria eléctrica, en el sistema actual los puntos de generación se encuentran la mayoría de las veces muy distantes de los puntos de consumo. Y el uso de fuentes locales de energía, que en algún tiempo acompañó al proceso de generación de electricidad, ha sido sustituido en muchos casos por combustibles que deben transportarse a lo largo de grandes distancias, siempre condicionados a que pueden dar el mejor rendimiento económico para las empresas eléctricas y sus inversionistas.

El sistema eléctrico actual ha demostrado sus bondades a lo largo de más de cien años de existencia: ha facilitado el desarrollo económico y social de muchas naciones, y ha sido palanca para la innovación en diversos ámbitos del quehacer humano.

La mayoría de los servicios que se disfrutan hoy en día no habrían sido posibles sin la electricidad suministrada por las compañías eléctricas. Pero el esquema actual de generación también empieza a dar muestras de sus limitaciones, conforme la sociedad humana se hace más consciente del entorno en que vive.

Al proceso de generación eléctrica mediante la quema masiva de combustibles fósiles se atribuye, en gran medida, el fenómeno del cambio climático, uno de los problemas ambientales más serios que enfrenta la humanidad en los albores del siglo XXI. Al esquema eléctrico centralizado se culpa también de ser uno de los principales factores del endeudamiento masivo que padecen muchos países en desarrollo, los cuales en el afán de construir su sistema eléctrico a semejanza de los países industrializados, han recurrido a fuertes endeudamientos con la banca internacional para obtener el capital del que carecen en sus economías.

Por éstas y un conjunto de razones adicionales, el sistema eléctrico tradicional se encuentra actualmente sometido a un profundo proceso de reforma en muchos países, lo que marca pautas para su evolución hacia esquemas alternativos de generación y suministro de electricidad. El sistema eléctrico convencional enfrenta cada vez mayores dificultades para llevar el servicio a casi un tercio de la humanidad que aún no tiene acceso a la electricidad ni a los beneficios que de ella se derivan.



En medio de las reformas y cambios a que está sometido el actual sistema eléctrico en el entorno mundial, surgen nuevos esquemas en lo político, lo institucional, lo económico y lo tecnológico. Ello hace pensar que dentro de 30 ó 40 años las empresas eléctricas de entonces en poco se habrán de parecer a las que conocemos actualmente.

Algunos indicadores en este sentido son los siguientes: los monopolios de estado en la industria eléctrica están desapareciendo; las tecnologías de generación empiezan a apartarse de la ruta de las grandes unidades generadoras (que en su momento ofrecían importantes economías de escala) en favor del uso de tecnologías cada vez de menor tamaño, pero con mayores economías en los procesos de manufactura; los gobiernos y las entidades reguladoras imponen cada vez mayores restricciones al uso de combustibles contaminantes; y los empresarios buscan minimizar los riesgos de sus inversiones, recurriendo a esquemas que les permitan eliminar, en lo posible, la incertidumbre de los precios en el mercado de los energéticos.

### 1.1.2 ENERGÍAS RENOVABLES.

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica, la hidráulica y la biomasa. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la del sol, son buenos ejemplos de ello.

A partir de la revolución industrial, las fuentes renovables de energía empezaron a ser abandonadas paulatinamente, conforme la sociedad descubría otras fuentes de energía más convenientes y aparecían nuevas tecnologías para su aprovechamiento. Así, la máquina de vapor sustituyó a las velas de los barcos, a los molinos de viento y a las ruedas de agua como motor primario. La máquina de combustión interna, alrededor de la cual se desarrollaron numerosas aplicaciones, vino a su vez a sustituir a la máquina de vapor.

La leña, combustible básico desde el descubrimiento del fuego, es aún hoy en día fuente importante de energía para cocinar, para calentar los hogares y en algunos casos para iluminación, principalmente en el medio rural de los países en desarrollo. La leña fue sustituida por el carbón mineral como el combustible preferido por la industria, la navegación y el transporte masivo. A su vez, el carbón eventualmente fue desplazado por el petróleo y sus derivados, que actualmente constituyen el eje central del suministro energético en el mundo.

El viento ha sido utilizado para impulsar embarcaciones desde tiempos muy antiguos, facilitando el transporte de bienes y personas. En su época, el descubrimiento del nuevo mundo no hubiera sido posible sin el uso de esta tecnología, aunque su aprovechamiento mediante tecnologías modernas se empieza a dar con intensidad creciente.

Con el invento de la máquina de vapor por James Watt, se van abandonando estas formas de aprovechamiento, por considerarse inestables en el tiempo y caprichosas y se utilizan cada vez más los motores térmicos y eléctricos, en una época en que el todavía relativamente escaso consumo, no hacía prever un agotamiento de las fuentes, ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron.

Hacia la década de años 1970 las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada (a diferencia de los combustibles fósiles que precisan miles de años para su formación) como por su menor impacto ambiental en el caso de las energías limpias, y por esta razón fueron llamadas energías alternativas. Actualmente muchas de estas energías son una realidad, no una alternativa, por lo que el nombre de alternativas ya no debe emplearse.

El uso de las energías renovables no es nuevo, sino que antes al contrario, han sido las primeras fuentes energéticas usadas por la humanidad. Sin embargo, las acciones sistemáticas para explotar y desarrollar estas fuentes energéticas, comenzaron hace poco más de cuatro décadas coincidiendo con la crisis energética de principios de los años setenta.



En aquellos momentos, las energías renovables parecían muy atractivas, tanto para la industria como para las administraciones de los diferentes países. Las expectativas de crecimiento sostenido de los precios del petróleo, unido a la posibilidad de aumentar la diversificación de las fuentes energéticas para reducir la dependencia del petróleo, sustentaban en gran medida el interés antes mencionado.

En ese contexto se iniciaron en muchos países programas importantes de Investigación y Desarrollo de estas fuentes energéticas.

Sin embargo, dos elementos separados propiciaron un relativo descenso del interés por el desarrollo de estas fuentes energéticas que se podía localizar en la década de los ochenta. Por un lado, las expectativas del crecimiento de los precios del petróleo no se cumplieron y las crisis provocadas por una potencial escasez o elevados precios a corto plazo desaparecieron.

Por otra parte algunas expectativas sobre plazo de desarrollo y potencial de penetración no se convirtieron en realidad en algunos casos. En la actualidad, la situación se puede analizar desde otros puntos de vista. En primer lugar, ha aparecido con mucha relevancia la preocupación social por el impacto ambiental de los procesos de producción de energía. Bajo esta perspectiva, las energías renovables han de jugar un papel importante, pues de todos es conocido el escaso impacto ambiental que estas fuentes producen en sus procesos de generación.

En segundo lugar, si bien en los países desarrollados, las expectativas de crecimiento de la demanda no son excesivas o preocupantes, en los países en vías de desarrollo se puede concluir que, por un lado se parte de una situación de oferta energética muy escasa y por otro lado, de un crecimiento de la población muy significativo.

## 1.2 DEFINICIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD).

### 1.2.1 INTRODUCCIÓN.

La Generación Distribuida (GD) representa un cambio en el paradigma de la generación de energía eléctrica centralizada. Aunque se pudiera pensar que es un concepto nuevo, la realidad es que tiene su origen, de alguna forma, en los inicios mismos de la generación eléctrica.

De hecho, la industria eléctrica se fundamentó en la generación en el sitio del consumo. Después, como parte del crecimiento demográfico y de la demanda de bienes y servicios, evolucionó hacia el esquema de Generación Centralizada, precisamente porque la central eléctrica se encontraba en el centro geométrico del consumo, mientras que los consumidores crecían a su alrededor. Sin embargo, se tenían restricciones tecnológicas de los generadores eléctricos de corriente continua y su transporte máximo por la baja tensión, que era de 30 a 57 kilómetros.

Con el tiempo, la generación eléctrica se estructuró como se conoce hoy en día, es decir, con corriente alterna y transformadores, lo que permite llevar la energía eléctrica prácticamente a cualquier punto alejado del centro de generación. Bajo este escenario, se perdió el concepto de Generación Centralizada, ya que las grandes centrales se encuentran en lugares distantes de las zonas de consumo, pero cerca del suministro del combustible y el agua.

En los años setentas, factores energéticos (crisis petrolera), ecológicos (cambio climático) y de demanda eléctrica (alta tasa de crecimiento) a nivel mundial, plantearon la necesidad de alternativas tecnológicas para asegurar, por un lado, el suministro oportuno y de calidad de la energía eléctrica y, por el otro, el ahorro y el uso eficiente de los recursos naturales.

Las personas vinculadas durante años al desarrollo de las fuentes renovables de energía tradicionalmente han encontrado criterios opuestos a su aplicación relacionados con lo disperso de estas fuentes, el factor de escala, el carácter cíclico, el elevado costo por unidad de potencia instalada, el escepticismo o la duda de las compañías de electricidad, y en determinados casos el marco legal, la política de desarrollo energético y las consideraciones técnicas sobre la calidad de la energía generada concerniente, fundamentalmente, a su disponibilidad y confiabilidad.



Si hoy el problema se analiza fundamentándose en las tecnologías disponibles, los costos ambientales de la generación de energía eléctrica, las inversiones y los gastos asociados a las grandes centrales, sus líneas de transmisión y distribución, las pérdidas en éstas, que en los mejores casos se encuentran entre 6 y 9 % de toda la energía transmitida, la vulnerabilidad de estos sistemas a fenómenos climáticos y de otra índole, el impacto de la salida de una de estas unidades, la disponibilidad y confiabilidad que exigen las cargas de las tecnologías informáticas y los sistemas de control computarizados, se puede predecir un cambio en la dirección de descentralizar los sistemas energéticos, producir la energía cerca o en los propios centros de consumo, e integrar las oportunidades a un sistema donde concurren diversas fuentes: la cogeneración a pequeña y mediana escala, la producción independiente y las fuentes renovables de energía.

Una de estas alternativas tecnológicas es generar la energía eléctrica lo más cerca posible al lugar del consumo, precisamente como se hacía en los albores de la industria eléctrica, incorporando ahora las ventajas de la tecnología moderna y el respaldo eléctrico de la red del sistema eléctrico, para compensar cualquier requerimiento adicional de compra o venta de energía eléctrica. A esta modalidad de generación eléctrica se le conoce como Generación In-Situ, Generación Dispersa, o más cotidianamente, Generación Distribuida.

### 1.2.2 GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD).

Mundialmente existe un consenso general en la definición de generación distribuida, el cual se refiere, en términos simples, a lo siguiente: “unidades generadoras de pequeño tamaño ubicadas cerca de los puntos de consumo”. Sin embargo, esta definición puede ser interpretada de diferentes formas debido a los vacíos y ambigüedades de algunas de sus palabras. De hecho, diferentes países y organismos privados que han investigado el tema, han entregado diversas interpretaciones asociadas a esta definición, lo que involucra mayor atención y cuidado cuando se desean analizar cifras y conceptos de estudios particulares. A continuación, se presentan algunos detalles de interpretaciones.

<b>TABLA 1.0 DEFINICIÓN DE GD DE PAÍSES U ORGANISMOS.</b>		
<b>País u Organismo</b>	<b>Definición GD</b>	<b>Rango</b>
La Comisión de Integración Energética Regional (CIER– Organismo Internacional del Sector Eléctrico de América del Sur)	Son pequeñas unidades conectadas en baja tensión y ubicadas en el punto de consumo.	<5MW
International Energy Agency	Producción de energía en las instalaciones de los consumidores o en las instalaciones de la empresa distribuidora, suministrando energía directamente a la red de distribución	
Uruguay	La Generación Distribuida agrupa a las unidades de generación conectadas directamente a la red de distribución y se habla de Autogeneración para referirse a las unidades que proveen energía al usuario para sí mismo.	
Estados Unidos	Especifican a centrales de generación que producen la energía cerca del consumo o en el punto de consumo mismo. Además, dentro de esta definición se encuentran tanto aquellos generadores conectados a la red de distribución como aquellos que no lo están.	<50MW
España	Conjunto de sistemas de generación eléctrica que se encuentran conectados dentro de las redes de distribución debido a que se caracterizan por su pequeña potencia y por su ubicación en puntos cercanos al consumo.	<50MW
Chile	Es el uso integrado de unidades pequeñas de generación directamente conectadas al sistema de distribución o bien al interior de las instalaciones del usuario.	

Fuente: Tesis Ingeniería Mecánica Eléctrica (Guatemala). Elaboración propia.



### 1.2.2.1 DEFINICIONES MÁS ILUSTRATIVAS SEGÚN LA COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA (CONUEE).

La Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, que cuenta con autonomía técnica y operativa. Tiene por objeto promover la eficiencia energética y constituirse como órgano de carácter técnico, en materia de aprovechamiento sustentable de la energía.

Aunque no existe una definición como tal, la CONUEE presenta las siguientes definiciones. A continuación se presentan las más ilustrativas:

- Generación en pequeña escala instalada cerca del lugar de consumo.
- Producción de electricidad con instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico.
- Es la generación conectada directamente en las redes de distribución.
- Es la generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las centrales convencionales y situadas en las proximidades de las cargas.
- Es la producción de electricidad a través de instalaciones de potencia reducida, comúnmente por debajo de 1,000 kW.
- Son sistemas de generación eléctrica o de almacenamiento, que están situados dentro o cerca de los centros de carga.
- Es la producción de electricidad por generadores colocados, o bien en el sistema eléctrico de la empresa, en el sitio del cliente, o en lugares aislados fuera del alcance de la red de distribución.

Podemos decir entonces que la GD es: la generación o el almacenamiento de energía eléctrica a pequeña escala, lo más cercana al centro de carga, con la opción de interactuar (comprar o vender) con la red eléctrica y, en algunos casos, considerando la máxima eficiencia energética.

## 1.3 SITUACIÓN MUNDIAL ACTUAL.

### 1.3.1 ENERGÍAS RENOVABLES.

La energía es un elemento clave de toda actividad humana y es clave para el desarrollo de la sociedad. La cuarta parte de la población mundial, que constituyen los países desarrollados, consumen tres cuartas partes de toda la energía primaria consumida en el planeta.

En lo que se refiere a los países desarrollados, se ha observado recientemente una mejora de la eficacia en los procesos de utilización energética que ha mejorado el ratio "intensidad energética" que relaciona el consumo de energía primaria por unidad de PIB. Si bien, esta relativa disminución de las necesidades energéticas a través de mejoras en la eficiencia y el ahorro, hacen prever un crecimiento moderado de la demanda.

Los problemas medioambientales asociados a los procesos de conversión de la energía han significado un toque de atención cada vez más acentuado. Los problemas asociados al efecto invernadero, lluvias ácidas o residuos nucleares, significarán a corto plazo, un nuevo impulso al desarrollo de nuevas formas de producción de energía, motivados en esta ocasión, no tanto por problemas en cuanto a la disponibilidad del recurso, como ocurrió a raíz de la crisis energética, sino por aspectos medioambientales y de calidad de vida.

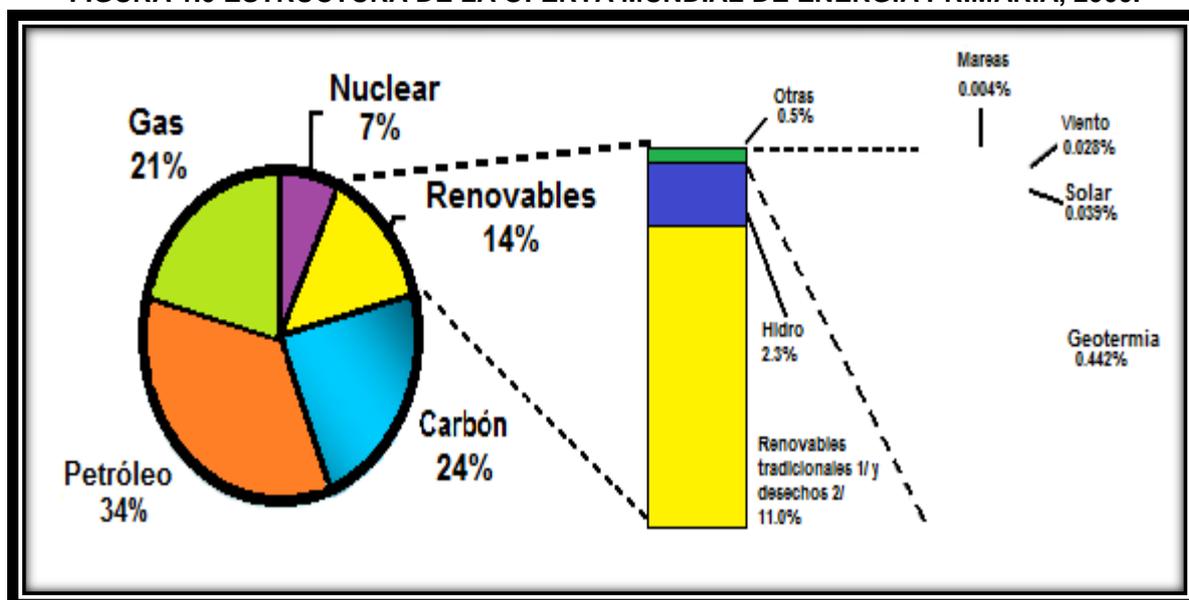


En los países en vías de desarrollo, la situación es bien distinta. El crecimiento de la población así como el incremento de calidad de vida previsible llevará asociado un incremento sustancial de las necesidades energéticas. En esta situación, los modelos de producción energética centralizados en grandes unidades con redes de distribución, no serán los más adecuados, sino más bien sistemas distribuidos en donde el consumo se realice en las proximidades de los centros de producción energética.

Esto permitirá articular el crecimiento en pequeñas unidades que no precisen las grandes inversiones requeridas en los procesos de producción centralizados.

Las transiciones sucesivas de la estructura energética mundial ocurridas a lo largo del siglo XX han creado un panorama muy diferente al que predominaba en 1850, en donde quizás el cambio más dramático ha sido el correspondiente a la participación de las fuentes renovables de energía. De construir casi el 90% de la oferta mundial en 1850, los energéticos renovables pasaron a conformar únicamente el 14% de esta oferta en el año 2000, como lo muestra la figura 1.0.

**FIGURA 1.0 ESTRUCTURA DE LA OFERTA MUNDIAL DE ENERGÍA PRIMARIA, 2000.**



Fuente: ISES, 2002.

1/ incluye leña y carbón vegetal.

2/ incluye residuos agrícolas y desechos sólidos municipales.

Esta reducción tan acentuada a favor de las fuentes fósiles, que en conjunto representaron el 79% de la oferta mundial de energía primaria en el año 2000 no fue, sin embargo, fruto de la casualidad. El crecimiento de la población mundial se dio junto con importantes cambios en la organización de los procesos productivos debido a la industrialización, a los que se aunaron los procesos de urbanización y las crecientes necesidades de transporte de personas, de insumos y de mercancías. Esto determinó el surgimiento de nuevas y mayores necesidades energéticas que las fuentes tradicionales como la leña ya no podían cubrir a un nivel masivo. En esa nueva etapa, el continuar cubriendo la demanda energética únicamente a base de leña hubiera significado una gran devastación forestal dados los enormes requerimientos y las bajas eficiencias de las tecnologías utilizadas. Así, se hizo cada vez más necesario recurrir a fuentes fácilmente transportables y con mayor densidad energética, por lo que el carbón y el petróleo cubrieron ese nuevo papel.

¿Pero por qué el uso de las fuentes renovables no desapareció totalmente con el surgimiento y consolidación de las fuentes llamadas convencionales? Una de las razones de esta permanencia es que el desarrollo económico no ha alcanzado a todas las regiones del mundo por igual. Todavía existen regiones sin acceso a la energía convencional, que subsisten utilizando fuentes o tecnologías elementales. Otra razón ha sido de tipo cultural: muchos habitantes de zonas rurales prefieren cocinar



sus alimentos con leña por considerar que su sabor es mejor, e incluso el fogón es un elemento importante de cohesión y convivencia familiar en zonas rurales de climas fríos.

Cabe mencionar que en este análisis no se considera a la leña como recurso renovable, debido a que este energético no se utiliza actualmente de manera sustentable. Sin embargo, aunque el consumo actual de leña es mayor que su tasa de regeneración natural, esto se atribuye mayoritariamente a su consumo industrial y en menor proporción al consumo de la población rural.

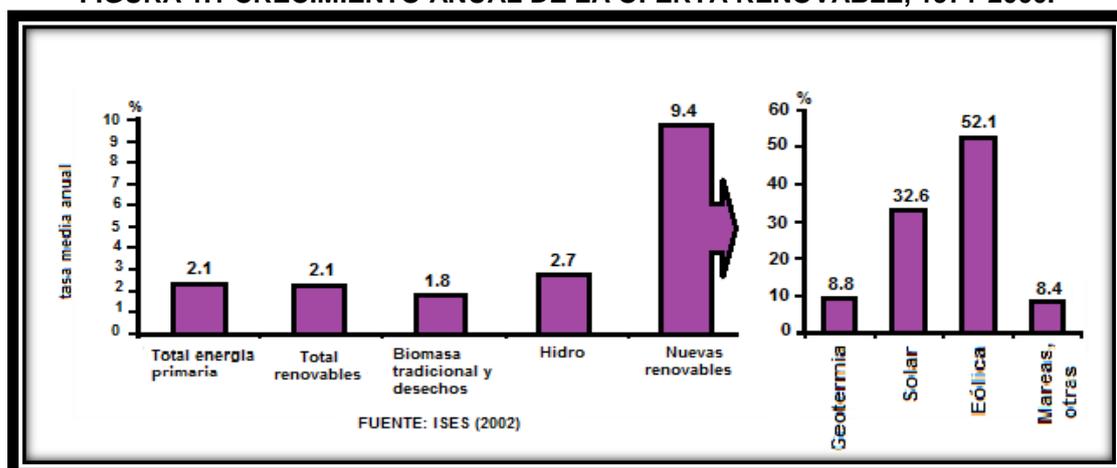
También existen razones de índole estratégica o económica; para muchas regiones es más conveniente aprovechar sus recursos hidráulicos en la generación de electricidad, que producirla a base de petrolíferos. Así, la permanencia de las fuentes renovables en el panorama energético mundial es un factor que no puede descartarse y que incluso ofrece un gran potencial de crecimiento. Retomando la información de la figura 1.0 puede verse que en el año 2000 el 11% de la oferta mundial de energía primaria se compuso de biomasa tradicional y desechos; el 2.3% de hidroelectricidad y el 0.5% de otras fuentes como la geotermia, la energía solar, el viento y las mareas.

Pero junto con la permanencia de las fuentes renovables a las que se refiere la figura 1.0, el progreso científico y tecnológico ha determinado la aparición en el mapa energético de nuevas formas de aprovechamiento de energías renovables, las cuales denominaremos como Nuevas Fuentes Renovables de Energía (NFRE), que ciento cincuenta años antes hubieran sido impensables.

Como las celdas solares, los sistemas eólicos, o los biocombustibles. Esto, aunado al surgimiento de ciertos nichos económicos favorables para su utilización, a la identificación de regiones con un alto potencial de aprovechamiento y a la creciente aceptación de la opinión pública de sus ventajas ambientales sobre las energías convencionales, le ha conferido a las fuentes renovables una importancia creciente.

La figura 1.1 muestra la tasa anual de crecimiento de las energías renovables durante las últimas tres décadas. Puede observarse que mientras las fuentes utilizadas tradicionalmente muestran un crecimiento moderado, las nuevas fuentes (geotermia, solar, eólica y otras) crecieron en promedio a 9.4% cada año.

**FIGURA 1.1 CRECIMIENTO ANUAL DE LA OFERTA RENOVABLE, 1971-2000.**



Las energías renovables a nivel mundial representan el 18% de la generación eléctrica, (la mayoría de esta participación considera las energías hidráulica y eólica) mientras que, la contribución al suministro térmico de las renovables es de un 24%. La participación de las energías fotovoltaica, solar, eólica y la bioenergía ha crecido rápidamente en los últimos años, efecto que se atribuye a las inversiones en investigación y desarrollo.

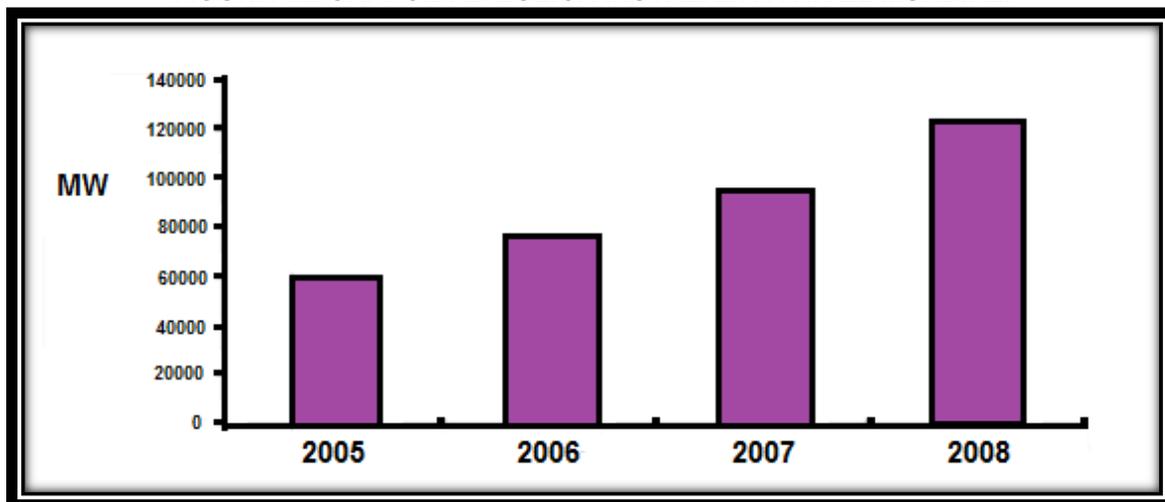
Mundialmente, la capacidad de generación a través de celdas fotovoltaicas es de alrededor de 6,000 Megawatts (MW), instalada principalmente en Alemania, Japón y Estados Unidos de América. En comparación, la energía termosolar está aún en desarrollo. Actualmente se cuenta con una capacidad instalada de 354 MW y, con varios proyectos en construcción, en 2010 se alcanzó los 2,000 MW.



Países como Estados Unidos de América, España, Australia, Israel, Italia, China, Irán, Jordania y Malta albergan dicha tecnología.

Globalmente la capacidad de generación eléctrica a través de la energía hidráulica es de 170,000 MW; la mayor parte de esta capacidad está instalada en países asiáticos, como China, India y Vietnam. En cuanto a la energía eólica, la capacidad de generación es de 121,000 MW, destacando: España, Alemania, Estados Unidos de América, India y China.

**FIGURA 1.2 CAPACIDAD EÓLICA INSTALADA A NIVEL MUNDIAL.**



Fuente: SENER, 2009

TABLA 1.1 PAÍSES CON MAYOR PRODUCCIÓN Y CAPACIDAD EÓLICA.		
PAÍS	Capacidad instalada (MW)	Producción(MW)
Alemania	20,600	30,700,000
España	11,600	23,000,000
Estados Unidos	11,600	26,700,000
India	6,300	8,000,000
Dinamarca	3,100	6,100,000
China	2,600	3,900,000
Italia	2,100	3,000,000
Reino Unido	2,000	4,200,000
Portugal	1,700	2,900,000
Francia	1,600	2,200,000

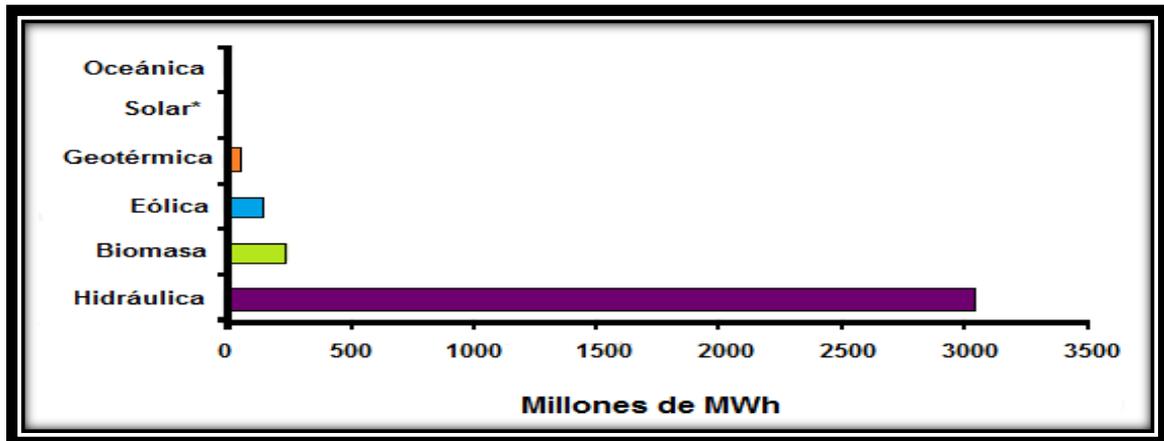
Fuente: SENER, 2009 Datos de Agencia Internacional de Energía.

La producción de electricidad a través de la energía geotérmica, alcanzó los 60,000,000 MWh en 2006. De conformidad con la Agencia Internacional de Energía, los 10 países integrantes de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico que producen más energía geotérmica son: Estados Unidos, México, Islandia, Italia, Japón, Nueva Zelanda, Suiza, Turquía, Alemania y Portugal. Nuestro país cuenta con 964.5 MW de capacidad instalada, misma que tiene una generación bruta de 7,057,768 MWh, distribuida en cuatro centrales geotermoeléctricas.

Dentro de las energías renovables, la biomasa es la fuente que contribuye en mayor medida a la producción de energía primaria, aunque solamente el 7% es usado para generar electricidad, alrededor de 239,000,000 MWh.



**FIGURA 1.3 GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A TRAVÉS DE ENERGÍAS RENOVABLES A NIVEL MUNDIAL.**



Fuente: SENER, 2009. Datos de la Agencia Internacional de Energía.

\**Estimado* (sumando las capacidades instaladas de tecnologías: solar fotovoltaica y termosolar, y considerando un trabajo diario de 5 horas por 365 días al año, resulta una generación de 11.596 millones de MWh).

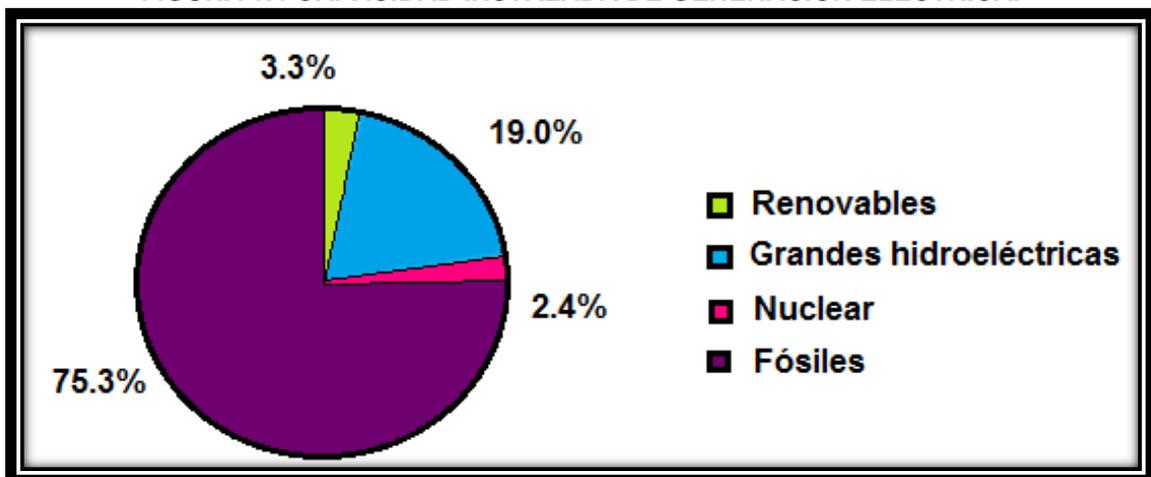
La energía oceánica, en comparación con las demás fuentes renovables, es la que menos contribuye a la generación de electricidad. Los países poseedores de tecnología para aprovechar este tipo de energía son: Reino Unido, Francia, Estados Unidos, Canadá, China, Rusia y Noruega, mismos que apenas comienzan a comercializarla.

En la actualidad se encuentra en investigación y desarrollo una nueva generación de energías renovables. En ella destacan los concentradores solares, la energía oceánica, geotérmica avanzada y las biorefinerías. Pagina

### 1.3.2 LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN MÉXICO.

Actualmente, México cuenta con alrededor de 1,924.8 MW de capacidad instalada de generación eléctrica con base en energías renovables, que incluye la capacidad destinada al servicio público, cogeneración y autoabastecimiento, representando el 3.3% de la capacidad instalada en el servicio público del país.

**FIGURA 1.4 CAPACIDAD INSTALADA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.**



Fuente: SENER, 2009. Datos de la Comisión Reguladora de Energía y Comisión Federal de Electricidad.



En la tabla 1.2 se muestra la capacidad instalada total, a partir de fuentes renovables, por tipo de tecnología utilizada:

<b>TABLA 1.2 CAPACIDAD Y GENERACIÓN ELÉCTRICA EN MÉXICO POR TIPO DE ENERGÍA. (2008**)</b>					
		<b>Capacidad</b>		<b>Generación</b>	
Tecnología	Desarrollador	Anual (MW)	% Total	Anual (GWh)	% Total
Eoloeléctrica	CFE	85.250	0.15%	231.505	0.09%
Eoloeléctrica	Permisionarios	0.000	0.00%	0.000	0.00%
<b>Total Eoloeléctrica</b>		<b>85.250</b>	<b>0.15%</b>	<b>231.505</b>	<b>0.09%</b>
Pequeña Hidroeléctrica	CFE	270.128	0.46%	1309.525	0.53%
Pequeña Hidroeléctrica	LFC	23.330	0.04%	52.988	0.02%
Pequeña Hidroeléctrica*	Permisionarios	83.492	0.14%	228.053	0.09%
<b>Total Hidroeléctrica</b>		<b>376.950</b>	<b>0.65%</b>	<b>1590.566</b>	<b>0.64%</b>
Geotermoeléctricas	CFE	964.500	1.66%	7057.768	2.86%
Biomasa y Biogás*	Permisionarios	498.116	0.86%	819.345	0.33%
<b>Total</b>		<b>1924.816</b>	<b>3.31%</b>	<b>9699.184</b>	<b>3.93%</b>
Total servicio público y permisionarios	58105.537	100%	246785	100.00%	
Participación Renovables			<b>3.31%</b>		<b>3.93%</b>
*Incluye proyectos Híbridos.					
**Proyectos en operación al cierre del 2008.					
Fuente: SENER, 2009 Datos de la Comisión Reguladora de Energía y la Comisión Federal de Electricidad. Unidades Generadoras en Operación, 2008, Sistema Eléctrico Nacional.					

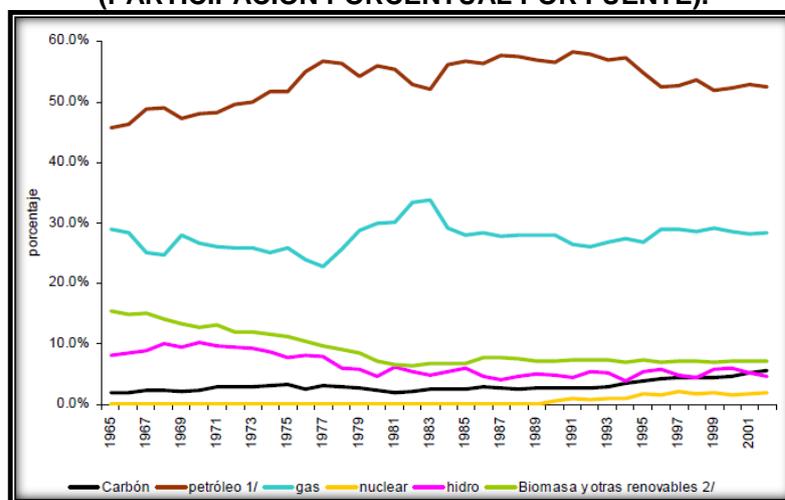
La información confiable sobre las fuentes energéticas utilizadas históricamente en México no se remonta más allá del año 1965, por lo que no es posible establecer con precisión los periodos en los que ocurrieron las primeras transiciones energéticas. Sin embargo, los datos disponibles nos permiten mostrar un panorama lo suficientemente claro para obtener algunas conclusiones importantes sobre nuestra situación energética actual. Así, la figura 1.5 ilustra la evolución de la oferta energética en México durante las últimas casi cuatro décadas y, como puede observarse, hay algunas diferencias importantes en relación con el panorama internacional.

En primer lugar, cabe destacar la importancia que tiene el carbón en nuestro país al abarcar menos del 10% de la oferta interna bruta. Esta situación se debe esencialmente a los escasos yacimientos de carbón que existen en México principalmente en el norte del territorio Nacional.

Por otra parte, el petróleo es el energético predominante en la oferta, con una participación de alrededor del 50% a lo largo del periodo, la cual, sin embargo, ha tendido a decrecer en la última década. Esta elevada participación es resultado de la situación de México como país productor de petróleo, lo que representa una alta disponibilidad de este energético, y por la política de desarrollo industrial mantenida desde la expropiación petrolera y hasta principios de la década de los ochenta, la cual consistió en suministrar insumos energéticos derivados de petróleo a precios subsidiados, lo que resulto en una utilización masiva de energéticos como el combustóleo, la mayoría de las veces en procesos poco eficientes y sin ningún cuidado al ambiente.



**FIGURA 1.5 EVOLUCIÓN DE LA OFERTA INTERNA BRUTA DE ENERGÍA PRIMARIA EN MÉXICO, 1965-2002. (PARTICIPACIÓN PORCENTUAL POR FUENTE).**



Fuente: SENER (1997 y 2003)

1/ incluye petróleo crudo y condensados

2/ incluye leña, bagazo de caña, geotermia y energía eólica

Otro proceso interesante que se muestra en la figura 1.5 es el relacionado con el gas natural. Históricamente, este energético ha tendido a ser el sustituto “natural” del petróleo, principalmente en los procesos industriales y, a partir de la década de los noventa, esta sustitución se ha concentrado en el sector eléctrico como resultado de la adopción de nuevas tecnologías de generación a gas natural, más eficientes y con menores impactos sobre el ambiente, aunque no debe minimizarse la contribución de la energía nuclear a esta situación.

De acuerdo con los datos disponibles, el proceso de consolidación del petróleo como el energético predominante en México culminó hacia principios de la década de los ochenta, cuando concluyó la tendencia al desplazamiento de las fuentes renovables tradicionales como la leña, a la par que la generación hidroeléctrica cedió su lugar como la primera fuente de producción de electricidad a la generación termoeléctrica.

Como resultado de estos procesos, actualmente la utilización de las energías renovables en México se da en una proporción muy inferior a su potencial, tal y como lo indican las cifras en el Balance Nacional de Energía 2002: solamente el 11.66% de la oferta interna bruta de energía primaria se compuso de fuentes renovables de energía, lo que se compara con el uso de hidrocarburos, cuya participación en la oferta interna bruta de energía primaria fue de 86.4%.

En lo que respecta a la leña, es importante señalar que diversas metodologías, indican que los valores presentados para consumo energético de leña en el Balance Nacional de Energía (BNE) están por debajo de los consumos reales, por ejemplo, el BNE, 2001 señala que se consumieron 256 petajoules lo que representa el 30% del consumo energético total en el sector residencial y el 7% del consumo final total mientras que el estudio citado se menciona que la participación de la leña se encuentra entre el 8% y el 10% de la energía final y entre el 36% y el 45% del sector residencial. Esto refleja la gran importancia de este energético en un país en desarrollo, como México, en donde las comunidades rurales aisladas satisfacen la mayor parte de sus necesidades energéticas con leña, estimándose que el 75% de la energía consumida en los hogares rurales proviene de este recurso.

### 1.3.3 SITUACIÓN ACTUAL DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

Históricamente ha prevalecido la idea de que un sistema eléctrico eficiente debía basarse en grandes plantas de generación y largas líneas de transporte. Pero esto ya no es cierto. En Estados Unidos la



potencia media de las nuevas plantas ha descendido desde los 600 MW a mediados de los años ochenta a 100 MW en 1992 y a 22 MW en 1998 y así sucesivamente con el devenir de los años.

Como indican los datos anteriores, estamos inmersos en una revolución tecnológica en el sector eléctrico, que se manifiesta por el acelerado desarrollo de la micro generación o generación distribuida (placas fotovoltaicas, energía eólica, microturbinas, pilas de combustible, etc.).

Por un lado, están apareciendo tecnologías muy eficientes que producen electricidad a partir del gas natural, utilizando microturbinas, celdas de combustible, motores Stirling, etc., con un rendimiento de más del 90%, mientras que las grandes plantas más modernas, las de ciclo combinado, no sobrepasan el 55%.

Además, el sistema convencional pierde en la red de distribución un 20% de la energía. Por lo que actualmente la generación distribuida está pasando por su mejor momento, ya que es ahora cuando realmente necesitamos de energías renovables para ser independientes del petróleo, y por ende posicionarnos como una sociedad limpia y sostenible que vea por la no contaminación global.

Según informes de *Clean Edge* y del Instituto de las Montañas Rocosas (RMI), actualmente los nuevos sistemas tecnológicos distribuidos son mejores por los siguientes motivos:

- **Seguridad:** Los sucesos del 11 de septiembre han demostrado la vulnerabilidad de las grandes plantas de generación a los ataques terroristas. Además las pérdidas debidas a cortes en el suministro provocados por los desastres naturales tienden a aumentar por la conjunción de dos vectores: la agudización de los fenómenos provocados por el cambio climático y el desarrollo de una sociedad crecientemente informatizada, en la que incluso una leve caída de tensión puede causar grandes costos económicos. Para garantizar la seguridad se busca la redundancia, tener una fuerte sobrecapacidad de generación, pero los citados fenómenos afectan normalmente a las líneas de transporte y estaciones de transformación. La fiabilidad del sistema actual es de 99,9%, lo que supone que los cortes anuales duran 60 minutos, mientras que la fiabilidad de las pilas de combustible es entre 100 y 1000 (99,9999%) veces mayores, lo que supone en el mejor de los casos menos de tres segundos de interrupción anual.
- **Minimización del impacto ecológico:** Existe una presión ciudadana creciente por la calidad ambiental. Tecnologías como los sistemas fotovoltaicos y pilas de combustible generan muy bajos o nulos impactos ambientales en su funcionamiento, porque se pueden instalar en los mismos edificios que consumen la electricidad.
- **Flexibilidad:** Al ser tecnologías de pequeña escala y modulares, pueden aumentar la capacidad en poco tiempo y adaptarse a las necesidades de cada usuario.
- **Eficiencia:** Se está incrementando rápidamente la eficiencia de las placas fotovoltaicas y de las pilas de combustible.
- **Costo-efectividad:** Los rápidos desarrollos tecnológicos, las producciones crecientes y las ventajas anteriores resultan en nichos de mercado en rápido crecimiento donde estas tecnologías resultan las más costo-eficientes.

En el contexto internacional el uso de la Generación Distribuida ha sido impulsado por diversos factores. De acuerdo con datos de la Comisión Internacional de Generación mediante Energías Renovables CIGRE, de 1999, en diversos países del mundo se ha incrementado el porcentaje de la potencia instalada de GD, en relación con la capacidad total instalada.

Así, en países como Dinamarca y Holanda, alcanza valores de hasta el 37%, y en otros, como Australia, Bélgica, Polonia, España y Alemania, tan solo del 15% y en el caso de Estados Unidos, del 5%.



En lo relativo al potencial en GD en el mundo, se cuenta con la siguiente información:

- Se estima que en los próximos 10 años el mercado mundial para la GD será del orden de 4 a 5 mil millones de dólares.
- Estudios del *Electrical Power Research Institute* y del *Natural Gas Foundation* previnieron que, de la nueva capacidad de generación eléctrica que se instalaría al año 2010 en Estados Unidos, del 25% al 30% sería con GD.
- Con base en estimaciones de la Agencia Internacional de Energía, los países desarrollados serán responsables del 50% del crecimiento de la demanda de energía eléctrica mundial en los próximos 20 años, equivalente a 7 millones de MW, donde el 15% de esta demanda le corresponderá a GD.

#### 1.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

<b>TABLA 1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.</b>	
<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
No requiere de largas redes de transmisión.	Falta de conocimiento de las tecnologías de generación distribuida.
Reduce las pérdidas en las redes de distribución.	Necesidad de tener sistemas de distribución enmallados o en anillo, ya que las redes de distribución son típicamente radiales.
Aumento de la confiabilidad en el suministro de energía eléctrica.	Falta de sistemas regulatorios, ya en la mayoría de los países subdesarrollados no se considera a la Generación Distribuida como un aspecto diferente a la Generación Convencional, por lo que explícitamente la penalizan.
Reducción de probabilidades de falla por caídas de las líneas de alta tensión.	La estructura tarifaria aun no pensada para los consumidores en dos vías de la Generación Distribuida, es decir cuando se autoabastece y el excedente generado lo vierte a la red de distribución para aliviar el pico de la demanda máxima estimada de energía.
Control de energía reactiva y regulación de tensión en la red de distribución.	Exigencias exageradas para poder interconectarse con la red de distribución.
Posibilidad de inyectar a la red de distribución una cantidad de potencia reactiva para mejorar los niveles de voltaje.	
Generación de energía limpia utilizando fuentes renovables (GDR- Generación Distribuida Renovable).	
Descentralización de la propiedad del sector de generación, esto permite incentivar la competencia.	
Localización respecto a la fuente de combustible y reubicación de red.	
Participación de un gran número de pequeñas y medianas empresas locales en negocios de generación de energía.	
Modularidad de las inversiones de generación y postergación de inversiones en líneas de transmisión.	

Fuente: Tesis Ingeniería Mecánica Eléctrica (Guatemala). Elaboración propia.



### 1.5 BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

El auge de los sistemas de GD se debe a los beneficios inherentes a la aplicación de esta tecnología, tanto para el usuario como para la red eléctrica. A continuación se presentan algunos de los beneficios de la GD.

<b>TABLA 1.4 BENEFICIOS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.</b>	
<b>Beneficios de la Generación Distribuida para el usuario.</b>	<b>Beneficios de la Generación Distribuida para la red.</b>
Incremento en la confiabilidad.	Grandes reducciones de pérdidas en transmisión y distribución de la energía eléctrica.
Aumento en la calidad de energía.	Mayor regulación de tensión.
Reducción del número de interrupciones del servicio.	Menor congestión y saturación en la red de distribución.
Uso eficiente y eficaz de la energía. Menor costo de la energía (en ambos casos, es decir, cuando se utilizan los vapores de desecho, o por el costo de la energía eléctrica en horas de mayor demanda; horas pico).	Abasto de energía eléctrica en zonas remotas (áreas rurales principalmente).
Uso integral de energías renovables.	Reducción del índice de fallas.
Facilidad y versatilidad de adaptación a las condiciones del sitio.	Libera la capacidad instalada del sistema eléctrico.
Disminución ingente de emisiones de gases contaminantes de efecto invernadero acompañados en el Protocolo de Kyoto.	Proporciona mayor control de la energía reactiva.
Creación de conciencia sublime hacia el medio ambiente y sus relaciones ético-humano-ecológica.	Disminución de inversión a corto plazo.
Alto impacto en la seguridad e higiene industrial.	Seguridad adicional en el suministro de energía eléctrica dependiendo de la configuración y del sistema de protecciones.
	Versatilidad en topologías y arreglos de red.
	Aporte al proceso de investigación en la transmisión y distribución del fluido eléctrico, ya que concentra la generación cerca del consumo.
Fuente: Tesis Ingeniería Mecánica Eléctrica (Guatemala). Elaboración propia.	

### 1.6 BARRERAS DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

Hasta ahora, se ha presentado un panorama muy esperanzador para el desarrollo de la GD, que nos lleva hacia un nuevo modelo de negocio del sector eléctrico en el que los sistemas de micro y mini generación a partir de fuentes de energía renovable y las tecnologías de ahorro y eficiencia energética se muestran imprescindibles para satisfacer plenamente los requisitos, cada vez más exigentes, de los diferentes tipos de usuarios que demandan energía eléctrica de alta calidad y fiabilidad.

Sin embargo, no todos los factores y agentes implicados contribuyen en la misma medida en el desarrollo de sistemas que promuevan iniciativas en el sector de la GD. Existen una serie de barreras que impiden la implantación masiva de este tipo de instalaciones. Las más importantes son las barreras técnicas, económicas y regulatorias.

Por un lado, existen barreras técnicas, que incluyen las relacionadas con el nivel de desarrollo de las tecnologías y con la interconexión de los sistemas de generación a las redes de distribución. La falta de madurez de algunas tecnologías se reduce en menores eficiencias, fiabilidad, tiempo de vida, etc., y se supone una barrera a su implantación que puede ser reducida incrementando la investigación y el desarrollo tecnológico e implementando proyectos de demostración, etc.



Asimismo, en el caso concreto de las tecnologías de GD renovables, su producción depende de la disponibilidad del recurso renovable, el cual tiene, generalmente, variaciones aleatorias, lo que la hace bastante "impredecible".

Por ello, dicha producción puede variar mucho durante su operación y se puede producir desvíos significativos en los programas de compra de energía de las distribuidoras. En el caso de las tecnologías de GD no renovables (cogeneración), la producción de energía eléctrica también puede verse afectada, en este caso, por las necesidades de energía térmica del propietario del equipo. Todo ello puede constituir una barrera para que la generación descentralizada se incorpore a los mercados de energía.

Las barreras de interconexión incluyen las exigencias de las compañías distribuidoras dirigidas a la compatibilidad con la explotación de la red (especificaciones relativas a calidad de suministro, fiabilidad y continuidad, seguridad, medida, distribución local y control). Las redes de distribución no están preparadas técnicamente para conectar GD, pues fueron diseñadas para conectar cargas, no generadores. Es por esto que la conexión de dichos generadores puede acarrear problemas de estabilidad, fiabilidad, flujos bidireccionales, etc. Es necesario, por tanto, adoptar normativas técnicas de interconexión que aseguren la fiabilidad, seguridad y calidad del suministro y acelerar el desarrollo de los sistemas y tecnologías de control en GD.

Hoy en día, a pesar de que existen reglamentaciones que definen los requisitos procedimentales, los criterios de conexión exigidos por las distribuidoras son aún muy restrictivos, debido, sobre todo, a la falta de experiencia con este tipo de generación. Esto hace que muchas veces los criterios aplicados sean redundantes y se produzcan sobrecostos innecesarios.

Por otro lado, están las barreras económicas. La falta de madurez de algunas tecnologías y la poca difusión que ello conlleva, hacen que los costos de la inversión inicial, así como el mantenimiento posterior, se disparen, resultando en una traba a su penetración. Todo esto, implica plazos de amortización muy altos que se traducen en un mayor riesgo para el inversor.

Un mayor esfuerzo de investigación y desarrollo tecnológico y herramientas específicas de financiación de proyectos, subvenciones, primas e incentivos fiscales pueden ayudar a reducir riesgos y difundir la GD.

Asimismo, los efectos resultantes de la instalación de generadores distribuidos (aumento o disminución de pérdidas, mejoramiento o empeoramiento de la calidad de suministro, inversiones evitadas o necesidad de realizar nuevas inversiones, etc.) pueden dar lugar a ahorros o sobrecostos cuyo reparto puede influir positiva o negativamente a la hora de estudiar la viabilidad de un proyecto de GD. Por último, las barreras regulatorias incluyen los problemas existenciales a la hora de obtener licencias de instalación (problemas medioambientales, sociales, etc.), que involucran en muchos casos a autoridades locales, regionales y nacionales, haciendo el proceso largo y tedioso.

## 1.7 GENERACIÓN DISTRIBUIDA CONTRA SISTEMAS DE GENERACIÓN CONVENCIONALES.

La industria eléctrica se desarrolló evolutivamente bajo un esquema de verticalidad, en que las funciones de planeación, construcción de infraestructura física, generación de electricidad, control del sistema, transmisión, distribución, medición, facturación y cobranza, se realizaban bajo un sistema centralizado y jerárquico. Esto se derivaba de la necesidad operativa de generar al unísono con las variaciones de la demanda eléctrica, que estadísticamente corresponde a variaciones horarias con patrones diarios típicos para cada día de la semana, como a las variaciones asociadas a las estaciones del año, como a la temporada de lluvias.

El control de la generación para acoplarla continuamente al nivel de demanda es lo que se conoce como despacho de carga y constituye una función centralizada para garantizar la estabilidad del sistema eléctrico. El conocimiento estadístico del comportamiento de la demanda y el consumo eléctrico, permite realizar pronósticos de carga, para el corto y mediano plazo, programar la operación



y los mantenimientos preventivos, así como analizar las tendencias regionales del consumo eléctrico y planificar y programar los incrementos de capacidad de generación, como de transmisión y distribución. Una razón más de la centralización de la operación y control del sistema eléctrico.

Estos requerimientos operacionales determinaron la verticalidad del sistema eléctrico, su control central, su condición de monopolio natural en el territorio a servir, y su tendencia natural a instalaciones generadoras cada vez más grandes, requiriendo cada vez mayores recursos financieros para cubrir su expansión, así como disponer de grandes recursos concentrados de energéticos primarios.

Este modelo de desarrollo del sistema eléctrico empezó a presentar dificultades en razón de la magnitud de las nuevas inversiones, los recursos energéticos primarios para la generación eléctrica y los impactos ambientales derivados de las centrales termoeléctricas basándose en combustibles fósiles, por su manipulación, combustión y sus emisiones, las cenizas residuales y consumos de agua de enfriamiento, de estos combustibles que rápidamente desplazaron a las centrales hidroeléctricas, que fueron las primeras en desarrollarse y que al alcanzar grandes proporciones también han mostrado un impacto ambiental y social negativo.

La crisis energética del 73 propició la búsqueda de alternativas al modelo establecido en el sector eléctrico, y este se fue modificando por fuerzas exógenas al propio sector, cuando por necesidades nacionales de autonomía energética, se propició como estrategia nacional la diversificación y la eficiencia energética. El primer elemento de política energética en los países desarrollados fue el ahorro de energía y la cogeneración, como una medida de eficiencia energética, que vino a romper para siempre el carácter monopólico de la generación eléctrica por parte de las empresas prestadoras del servicio eléctrico.

No solamente por el hecho de la generación para autoabastecimiento, sino porque las ramas industriales que se beneficiarían con esta práctica, tienen un consumo térmico mucho mayor que de electricidad, sobre una base netamente energética, lo que daba lugar a un significativo traspaso de excedentes a la empresa eléctrica, lo que se logró sólo como mandato obligatorio para las empresas eléctricas, de comprar esos excedentes al precio del costo evitado.

Toda la energía eléctrica que las empresas eléctricas estaban obligadas a comprar de sus antiguos usuarios que instalaban sistemas de cogeneración en la industria y los servicios, se hacía sobre la base de los llamados costos evitados, es decir, sobre el costo de la electricidad por las inversiones que la empresa eléctrica evitaba en razón de la inversión del que establecía cogeneración en su industria o instalación comercial.

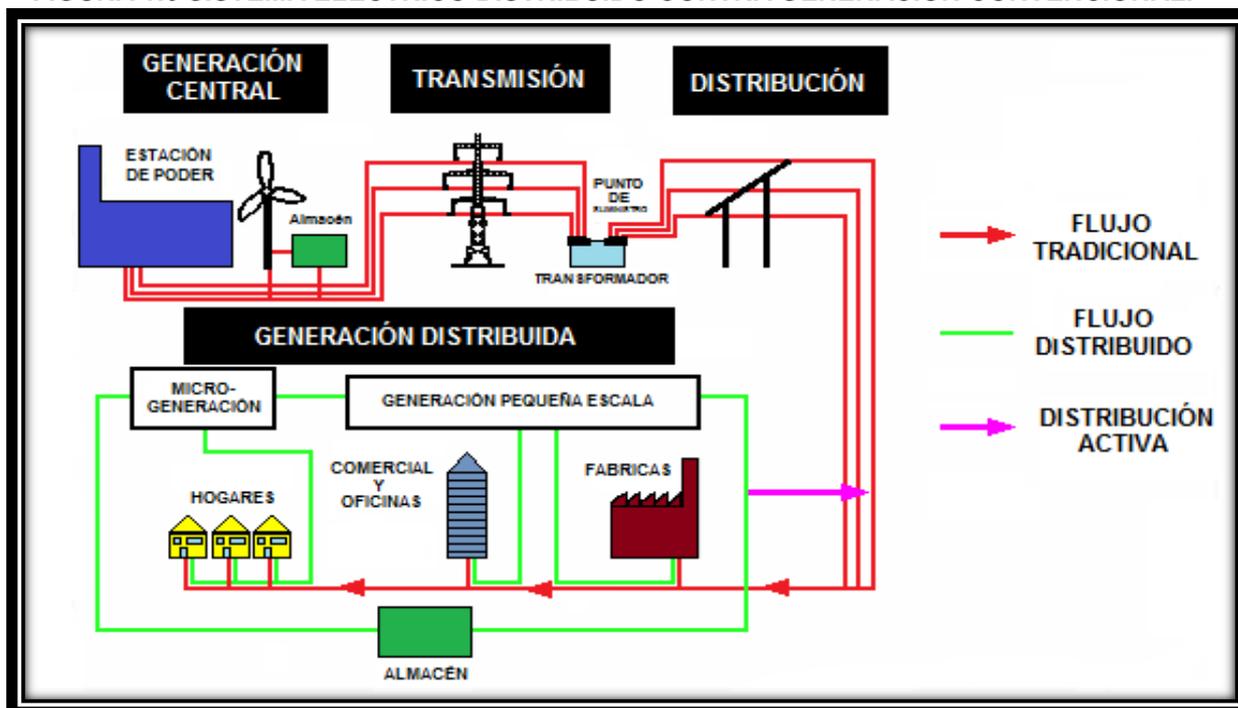
Este precio de compra estaba integrado como un estímulo para este tipo de inversiones, y su impacto fue tal, que a mediados de la década de los 80's, el 40% del crecimiento anual de la infraestructura de generación eléctrica en los Estados Unidos, era por cogeneración en las instalaciones de los usuarios, lo que representaba una media de 5000 MW por año de nuevas adiciones.

La cogeneración da nacimiento a la generación distribuida y a la bidireccionalidad de los flujos de energía entre la empresa prestadora del servicio y sus usuarios. El énfasis en la diversificación de la base energética y la conversión de energías renovables no convencionales a electricidad, dado su carácter difuso y de baja densidad energética, orientado a instalaciones de relativa baja capacidad de generación, origina su inclusión por mandato obligatorio, como otra modalidad de generación distribuida sobre la base de Productores Independientes de Energía, sujetos también a un esquema de incentivos para maximizar su aprovechamiento.

Las nuevas tecnologías de generación como la electrónica de control, solucionaron el problema de la posible energización indeseada de la red, por lo que esto dejó de ser un impedimento a la generación distribuida tal como se muestra en la figura 1.6.



FIGURA 1.6 SISTEMA ELÉCTRICO DISTRIBUIDO CONTRA GENERACIÓN CONVENCIONAL.



FUENTE: [WWW.INERSOL.COM](http://WWW.INERSOL.COM). & [WWW.ATLANTISSOLAR.ORG](http://WWW.ATLANTISSOLAR.ORG).

Este nuevo paradigma se empieza a integrar en los Estados Unidos sobre la base del Proyecto Independencia del Presidente *Nixon*, el que fue llevado a su pleno desarrollo por el Presidente *Carter*, promulgándose en 1978 la *Públic Utility Regulatory Policy Act*, conocida como PURPA, en que se establece la nueva estructura del sistema eléctrico, en un modelo donde cohabitan la gran y la pequeña generación, el suministro y el autoabastecimiento excedentario, los energéticos convencionales con las nuevas fuentes, las viejas y las nuevas tecnologías. Desdichadamente para los Estados Unidos, los cambios en la coyuntura petrolera y la disminución de su precio, determinaron durante la administración *Reagan* prácticamente el abandono de esta tendencia, que sin embargo se mantuvo aunque con un perfil menor, en Europa y Japón.

Lo más importante de este concepto de Generación Distribuida, es que se ha planteado un nuevo esquema de flujos de energía dentro de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP), tal como se mostró en la figura 1.6, ya que la generación deja de ser exclusiva de parte del primer nivel de la cadena. Así, parte de la energía demandada por los clientes es satisfecha por los grandes generadores convencionales del esquema tradicional y otra parte importante es satisfecha por la Generación Distribuida. Este nuevo paradigma requiere reestructurar la industria eléctrica desde dentro. El nuevo carácter bidireccional del flujo eléctrico y la generación distribuida realizada por los propios usuarios y productores independientes relativamente pequeños, afecta profundamente las etapas operativas fundamentales del Sistema Eléctrico, a saber, Planeación, Construcción, Generación, Control, Transmisión, Distribución, Medición, Facturación y Cobranza. De todo esto se deriva un nuevo esquema de interrelaciones totalmente nuevo para el esquema convencional del SEP tradicional.



## CAPÍTULO 2

### EFECTOS AMBIENTALES.

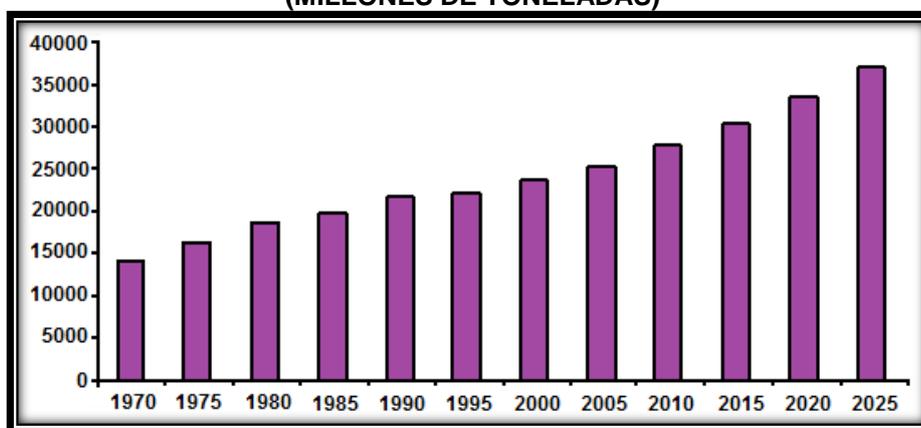
#### 2.1 ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE.

El clima de la Tierra en el transcurso de su historia ha variado constantemente. El clima actual difiere en mucho del clima que dominaba hace 100 millones de años. Lo que se intenta hacer entender es que los cambios climáticos están impulsados por causas naturales, pero los cambios climáticos actuales, a diferencia de los registrados en el pasado, están impulsados por una fuente adicional: la actividad humana.

Los problemas ambientales se han incrementado en los últimos años debido a las grandes necesidades de una población creciente, cuyas actividades principales de los sistemas energéticos no han sido respetuosas con el medio ambiente provocando la degradación del mismo y de los recursos naturales. Un sistema energético general es considerado como un conjunto de tres elementos principales: la fuente, el proceso de transformación y la utilización, durante cada etapa del sistema se producen impactos negativos hacia el medio ambiente.

La industria es uno de los principales productores de los contaminantes emitidos a la atmósfera a causa de los combustibles y materias primas empleados, del tipo de proceso y las tecnologías usadas. Unos de los principales centros emisores de contaminantes son las centrales de generación eléctrica. Los contaminantes emitidos a la atmósfera son varios, pero uno de estos gases contaminantes emitidos a la atmósfera es el bióxido de carbono, que si bien su existencia en el aire es completamente normal, su concentración ha sobrepasado los límites de su proporción en la mezcla de los componentes en la atmósfera, ver figura 2.0.

**FIGURA 2.0 EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR PRODUCCIÓN Y USO DE ENERGÍA, 1970-2025.  
(MILLONES DE TONELADAS)**



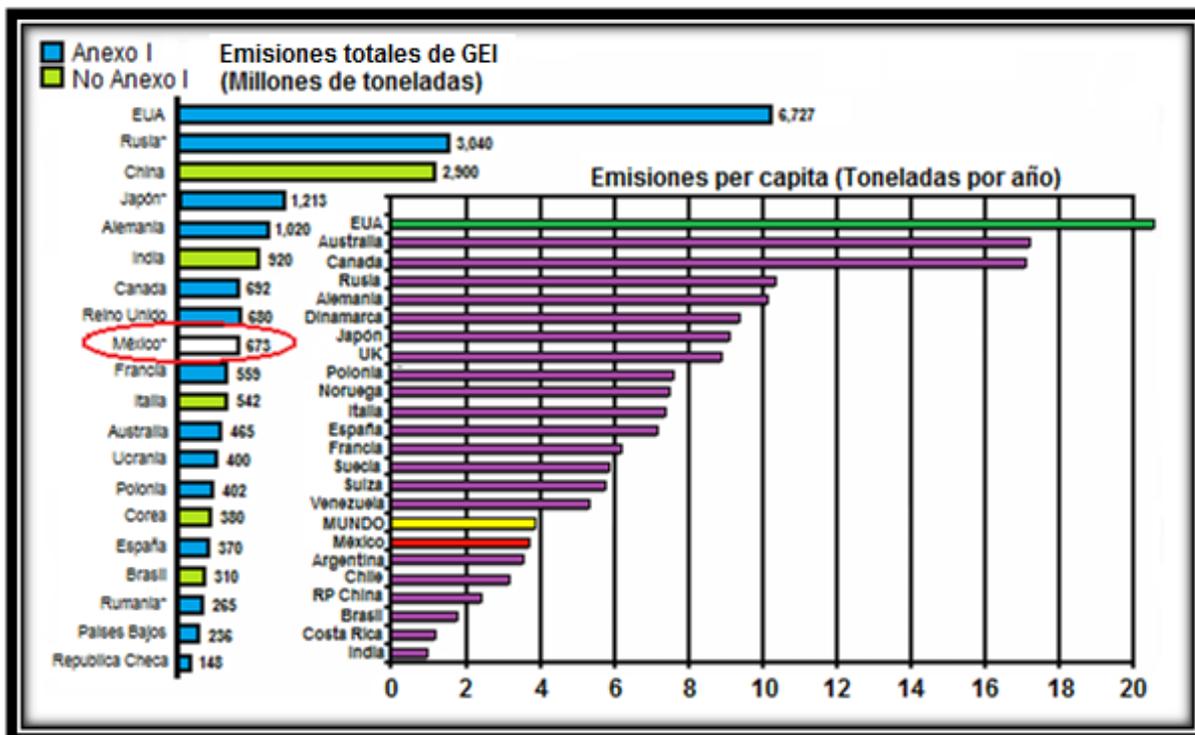
Fuente: EIA, 2004

#### 2.2 EFECTO INVERNADERO

El clima de la Tierra está dirigido por un flujo de energía continuo desde el Sol. Aproximadamente un 30 % es devuelto al espacio en forma inmediata, pero la mayoría del restante 70 % pasa a través de la atmósfera para calentar la superficie terrestre. La Tierra debe enviar esta energía de vuelta al espacio en la forma de radiación infrarroja. Estando mucho más fría que el Sol, la Tierra no emite energía como luz visible. En cambio, emite radiación infrarroja o radiación térmica. Los gases de efecto invernadero (figura 2.1) en la atmósfera bloquean la radiación infrarroja y no le permiten escapar directamente desde la superficie del planeta al espacio. De esta manera, al aumentar la concentración de gases de invernadero, se incrementa la cantidad de calor atrapado en la atmósfera, dando origen al Calentamiento Global del Planeta.



FIGURA 2.1 GASES DE EFECTO INVERNADERO.



Fuente: [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int)

### 2.3 CALENTAMIENTO GLOBAL.

Se piensa que el calentamiento global puede afectar a la humanidad en diversos aspectos como la disminución en la producción y abastecimiento de alimentos. Además de afectar a todas las especies y ecosistemas en general ya que serán cada vez más constantes y grandes ciertos fenómenos naturales como tormentas, sequías, huracanes, etc., que en particular afectarán principalmente a los países subdesarrollados ya que el proceso de recuperación a uno de estos embates de la naturaleza es lento y costoso. Varios estudiosos de este tema empiezan a considerar incluso el derretimiento de los polos terrestres.

### 2.4 EL PROTOCOLO DE KYOTO: ACUERDO HACIA UNA TRANSICIÓN POSIBLE.

En esencia, el Protocolo de Kyoto convoca a una reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos, 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 firmó su adhesión a este protocolo como país miembro del Anexo II el 9 de junio de 1998 y la ratificó el 7 de septiembre de 2000.

Bajo los términos del Protocolo de Kyoto, los países se agrupan en dos anexos. El Anexo I incluye a la mayoría de los países industrializados, mientras que el Anexo II incluye a los países en vías de desarrollo. De esta forma, para el periodo de 2008 a 2012 los países del Anexo I se comprometerán a reducir sus emisiones totales de gases de efecto invernadero en al menos 5% respecto a los niveles de 1990. Las metas cuantificadas de emisión son establecidas para cada país de manera diferenciada.



Para alcanzar estas metas de reducción, los países del Anexo I pueden implementar medidas internas de reducción de emisiones o los llamados “mecanismos flexibles” (llamados también “mecanismos de Kyoto” o “mecanismos de mercado”), diseñados para ayudar a los países a alcanzar sus metas de reducción de la manera más costo eficiente, a través del mercado. Descritos en forma sucinta, estos mecanismos consisten en lo siguiente:

- **Comercio Internacional de Emisiones:** este mecanismo permite que a partir del 2008 los países del Anexo I transfirieran algunas de sus emisiones permitidas hacia otros países del mismo anexo con base en el costo de un crédito de emisión. Por ejemplo, un país del Anexo I que en el año 2010 haya reducido sus emisiones de gases de efecto invernadero en 10 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> más allá de su meta establecida puede vender este “excedente” a otros países del Anexo I que no hayan podido cubrir su cuota de reducción.
- **Implementación Conjunta:** permite a los países del Anexo I invertir, a través de sus gobiernos u otras instituciones legales, en proyectos de reducción o secuestro de emisiones en otros países del Anexo I. De esta forma, las reducciones “externas” de emisiones representan una ganancia en créditos que se pueden aplicar para alcanzar sus metas internas de reducción de emisiones.
- **Mecanismos de Desarrollo Limpio:** este mecanismo es similar al de la implementación conjunta, con la diferencia de que los países destinatarios de la inversión no pertenecen al Anexo I, lo que abre la posibilidad de que este tipo de proyectos beneficie a economías en desarrollo. Al estar las energías renovables fuertemente vinculadas con el uso de fuentes limpias, este mecanismo representa una gran oportunidad para impulsar su desarrollo en México. Actualmente nuestro país participa dentro de este mecanismo como receptor de inversión con el proyecto de energía eólica Cruz Azul y con el proyecto hidroeléctrico El Gallo, en Cutzamala, Guerrero.

## 2.5 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 1° al 4 de junio del 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 las emisiones 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 el 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
5. implica la eliminación de barreras, la competencia limpia y considerar las externalidades para todos los tipos de energía.
  
6. 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 los niveles, la responsabilidad por parte de las empresas, los micro financiamientos 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.
  
7. El apoyo al fortalecimiento de las capacidades humanas e institucionales en energías renovables a través de:
  - Desarrollo de capacidades para el análisis de políticas y el asesoramiento tecnológico, la educación y la integridad de la dimensión de género.
  - Aumentar la conciencia de los beneficios de estas energías entre los tomadores de decisiones y las entidades financieras.
  - Promover la demanda de tecnologías de energías renovables.
  - Apoyar el desarrollo del mercado, mantenimiento y otras capacidades de servicio.
  - Fomentar la colaboración nacional e internacional y la participación de las partes interesadas, incluidos grupos de mujeres, para favorecer el acceso a la información, las buenas prácticas y el intercambio.
  
8. Se recalca la necesidad de realizar más investigación y desarrollo sobre energías renovables, específicamente en países en desarrollo, enfatizando su carácter asequible y su costo reducido, y la innovación tanto en modelos de negocios y financiamiento como en modelos de efectividad y reducción de costos para los consumidores.
  
9. El compromiso de los asistentes a la reunión de trabajar para lograr los objetivos planteados, ya sea conjunta o individualmente, emprendiendo las acciones planteadas en el “Programa Internacional de Acción” derivado de esta reunión y con otras medidas voluntarias. También acuerdan que se informe a la Comisión Sobre Desarrollo Sostenible de la ONU sobre estas acciones y que el seguimiento de los progresos se verifique según lo previsto en el Plan de Aplicación de Johannesburgo.
  
10. El acuerdo de los participantes de trabajar en una “red global de políticas” junto con representantes del congreso, sector académico, autoridades locales y regionales, sector privado, instituciones internacionales, asociaciones industriales, grupos de consumidores, de mujeres, sociedad civil, etc. Esta red informal debería considerar lo ya realizado en el marco de las cooperaciones y las autoridades existentes, y promover el intercambio de experiencias en fuentes renovables.



11. El compromiso de los asistentes a lograr progresos tangibles y a dar los siguientes pasos sustantivos en las sesiones 14 y 15 de la Comisión de Desarrollo Sostenible de la ONU, para lo cual, resuelven continuar el diálogo político iniciado en Bonn.

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 EMISIONES DE CAMBIO CLIMATICO.

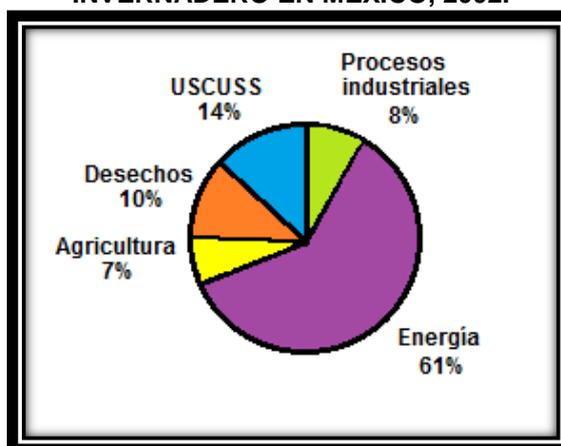
Una buena cantidad de la electricidad que se genera en México es resultado de la utilización de combustibles fósiles. En este sentido, la generación de electricidad aprovechando combustibles fósiles (carbón y petróleo) es una fuente significativa de contaminantes del aire.

Asimismo, las particulares características de los combustibles fósiles mexicanos -residuo de la refinación de crudos pesados y altos en contenido de azufre y asfáltenos - han motivado diversos estudios en torno a la valoración de la calidad de las emisiones de gases de combustión a la atmósfera.

### 2.6.1 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.

El Instituto Nacional de Ecología (INE) ha señalado, en el Inventario Nacional de Emisiones 1990-2002, que México tiene emisiones de gases de efecto invernadero de poco más de 643 mil Gigagramos en bióxido de carbono equivalente. Estas emisiones lo convierten en el país número 13 en el mundo en cuanto a emisiones anuales. De las emisiones cuantificadas, 61% proviene del sector de energía (figura 2.2).

**FIGURA 2.2 PARTICIPACIÓN DE FUENTES EN EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN MÉXICO, 2002.**

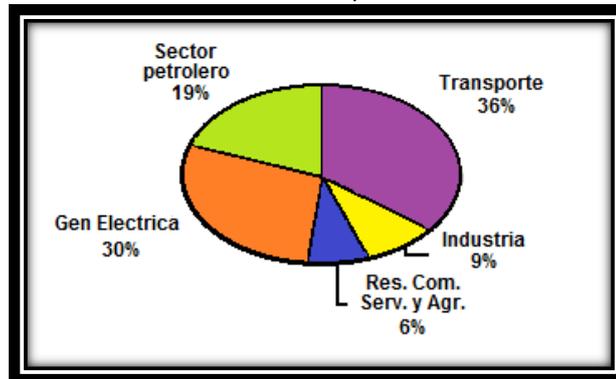


Fuente: INE

En términos de la participación de los sectores en las emisiones de gases de efecto invernadero (en función de donde se emiten) resalta el transporte con 36%, seguido por la generación de electricidad (30%), el sector petrolero (19%), el sector industrial (9%) y el agregado de los sectores residencial, comercial y de servicios, y el agropecuario, con 6% (figura 2.3).



**FIGURA 2.3 PARTICIPACIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DEL SECTOR DE ENERGÍA POR SECTORES, 2005.**



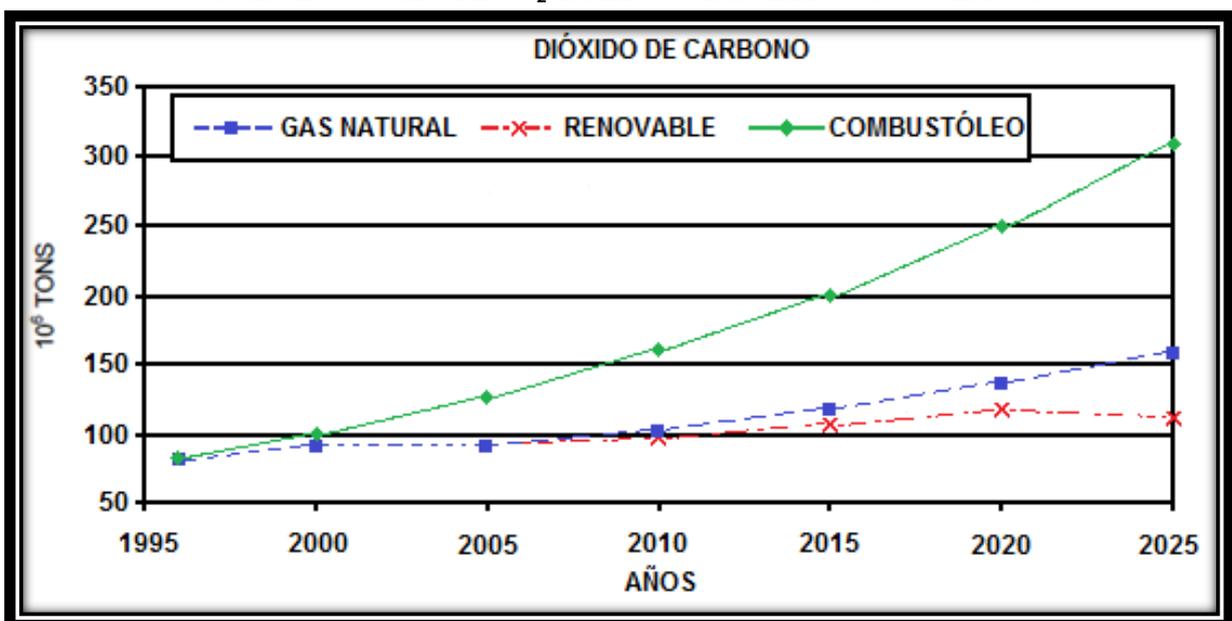
Fuente: Elaboración de ENTE, S.C., con base en datos de SENER e IPCC

### 2.6.2 DIOXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>)

En la figura 2.4 se representan las curvas de la evolucion de las emisiones de dióxido de carbono, el gas de cambio climático más importante, para cada uno de los escenarios. Esta figura muestra que el mejor escenario para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> es el de FRE el cual reduce en 64% dichas emisiones en relacion al escenario de combustóleo mientras que en el escenario de gas natural la disminucion es de 50%.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> del escenario FRE en 2025 son 1.4 veces más grandes que las emisiones registradas de este gas en el año 1996 y tiene una tasa de crecimiento anual de 1.1%, mientras que para el escenario de transicion estas cifras son del 1.9 y 2.3%, respectivamente. El escenario que más produce este tipo de emisiones es el de combustoleo en el cual las emisiones crecen a una tasa anual de 4.8% y en el año 2025 llega a emitir 3.4 veces más de CO<sub>2</sub> que en 1996.

**FIGURA 2.4 EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN EL SISTEMA ELÉCTRICO MEXICANO.**



Fuente: Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República.

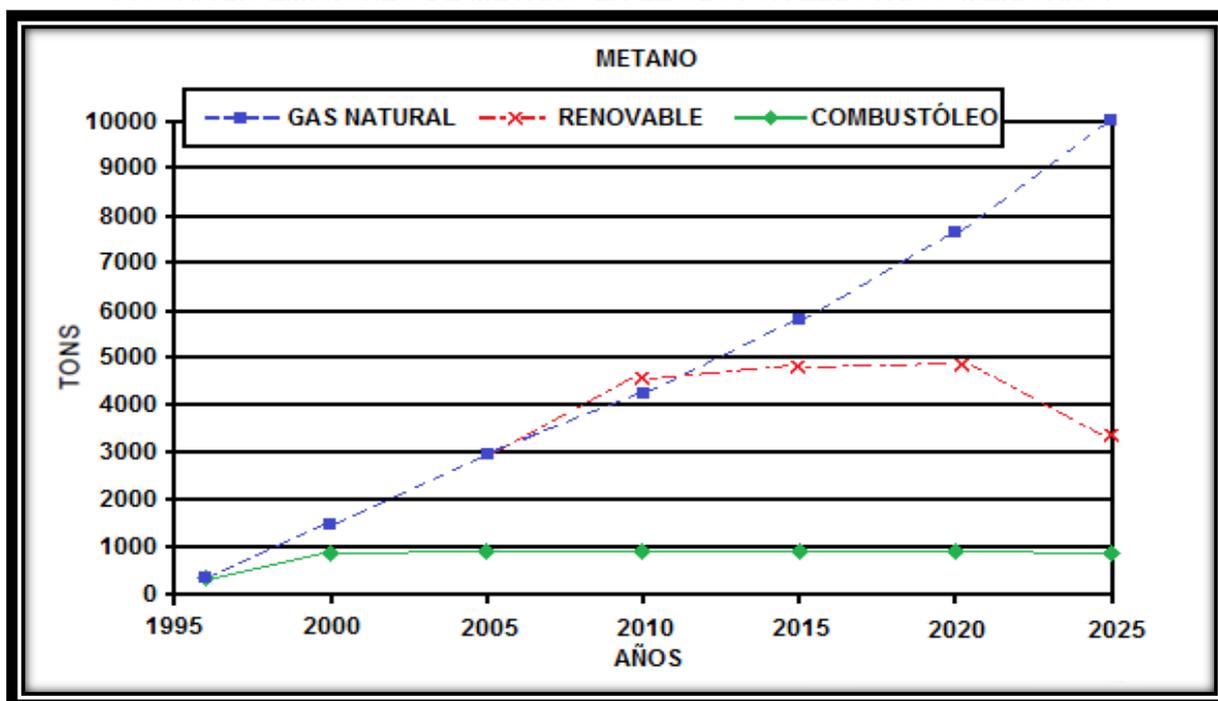


Una ventaja adicional del escenario FRE es que presenta hacia el año 2020 un punto de inflexión a partir del cual las emisiones anuales comienzan a decrecer. Finalmente, este escenario representa un potencial de reducción promedio de CO<sub>2</sub> de 8.2 millones de toneladas anuales en el periodo 1996-2025.

### 2.6.3 METANO.

Este es el segundo gas de cambio climático más importante. En la figura 2.5 se muestra que el escenario de combustóleo es el que presenta menores emisiones de metano. El escenario de gas natural es por el contrario el que más las produce y en el año 2025 llegan a ser 1,028% más en relación al escenario de combustóleo, mientras que esta cifra para el escenario FRE es de 277%. La tasa de crecimiento anual de estas emisiones en el escenario de gas natural es de 12% lo que se traduce en el año 2025 en 28 veces más emisiones de metano que en el año 1996. Por último, al igual que en el caso del dióxido de carbono, en el escenario de FRE las emisiones de metano llegan a un máximo en el año 2020 y comienzan a decrecer posteriormente.

FIGURA 2.5 EMISIONES DE METANO EN EL SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO.



Fuente: Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República.

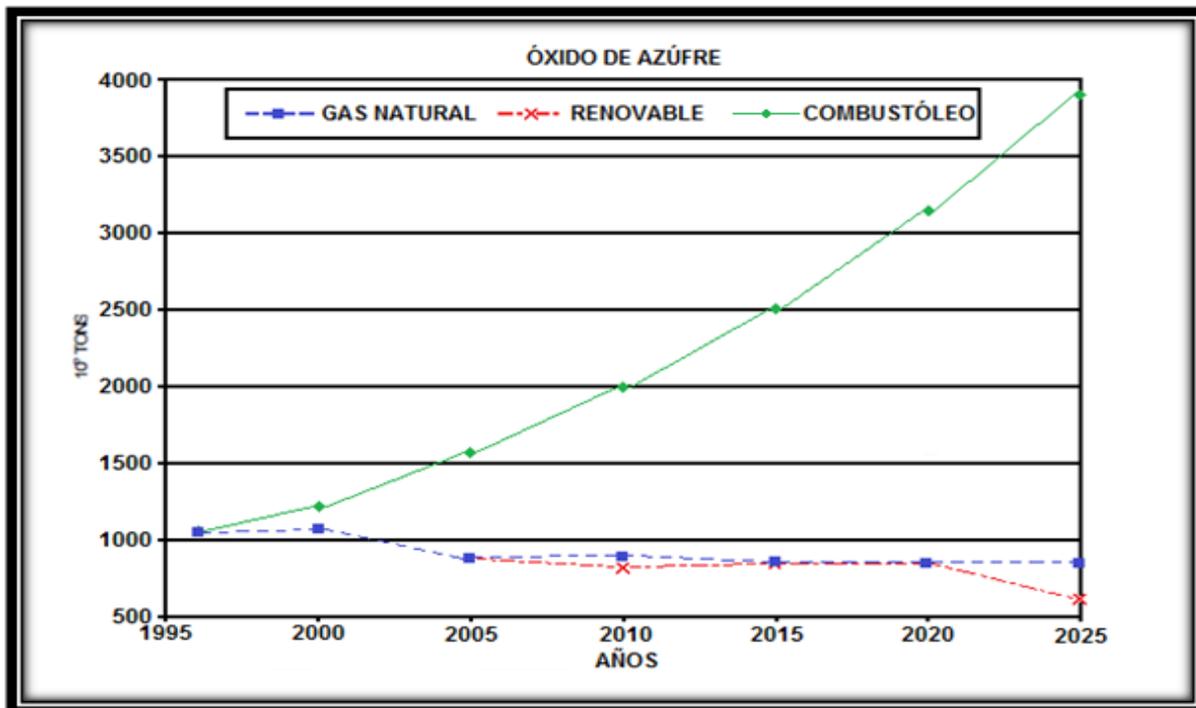
### 2.6.4 PRECURSORES DE LLUVIAS ACIDAS.

#### 2.6.4.1 EMISIONES DE DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>).

La figura 2.6 muestra la evolución de las emisiones anuales de SO<sub>2</sub> desde 1996 hasta 2025 para cada escenario. El escenario de combustóleo es el peor produciendo 3.7 veces más emisiones de SO<sub>2</sub> en el año 2025 en relación a 1996.



FIGURA 2.6 EMISIONES DE SO<sub>2</sub> EN EL SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO.



Fuente: Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República.

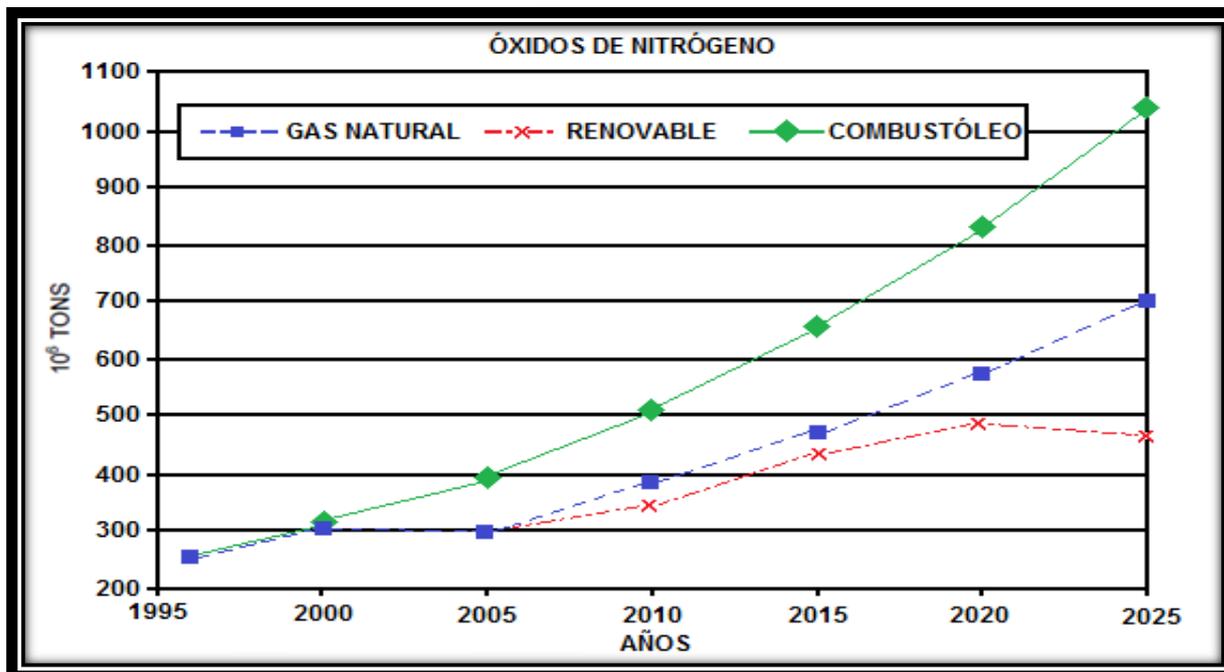
Al finar del periodo analizado, las emisiones del escenario de gas natural y de FRE son 0.6 y 0.8 veces más, respectivamente, que en el año de 1996, mientras que las tasas de crecimiento anuales para cada uno de estos escenarios son respectivamente -0.8% y -1.9%. Estas cifras significan fuertes reducciones de estas emisiones en cualquiera de estos dos escenarios. Se observa que debido a su bajo contenido de azufre, en el escenario de gas natural las emisiones de SO<sub>2</sub> decrecen hacia el año 2005 para posteriormente mantenerse prácticamente constantes. Se destacan sin embargo, que el escenario de FRE es el que menos emisiones anuales de SO<sub>2</sub> produce y el único que representa un punto de inflexión hacia emisiones decrecientes en el año 2020. Finalmente, cabe señalar que en el año 2025 el escenario de gas natural emite 1.4 veces más emisiones de SO<sub>2</sub> que el de FRE.

#### 2.6.4.2 EMISIONES DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO (NO<sub>x</sub>).

En la figura 2.7 se muestran las emisiones anuales de NO<sub>x</sub> desde 1996 hasta el 2025 para cada escenario. Las tasas de crecimiento anual para los escenarios de Combustóleo, Gas Natural y de FRE son 5%, 3.6%, 2.1% respectivamente. Para el año 2025, el escenario de gas natural produciría 32% menos emisiones de NO<sub>x</sub> que el de Combustóleo



FIGURA 2.7 EMISIONES DE NO<sub>x</sub> EN EL SECTOR ELÉCTRICO MEXICANO.



Fuente: Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República.

El escenario de FRE resulta otra vez ser el mejor ya que produciría 56% menos que el escenario de Combustóleo. Para el escenario de FRE las emisiones anuales crecen a una tasa anual de 2.1% en el periodo analizado lo que se traduce en el año 2025 en niveles de emisiones anuales que representan 1.8 veces más que en el año de 1996. El escenario de Combustóleo resulta ser el peor con una tasa de crecimiento anual de 5% y 4 veces más emisiones de NO<sub>x</sub> en 2025 en relación al año de referencia. Estas cifras para el escenario de gas natural son 3.6% y 2.8, respectivamente. Finalmente, como en el caso del CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y SO<sub>2</sub>, el escenario de FRE es el único en el que las emisiones anuales de NO<sub>x</sub> comienzan a decrecer después del año 2020.

### 2.6.5 INDICADORES ENERGÉTICOS AMBIENTALES.

Considerando las emisiones de CO<sub>2</sub>, las más importantes emisiones de cambio climático, el análisis de los indicadores energéticos ambientales muestra que en el escenario de FRE estas emisiones anuales por unidad de energía consumida, se reducen en 2025 drásticamente (57%) en relación a su valor de 1996. Para el mismo periodo, este indicador tiene una reducción de 20% para el escenario de Gas Natural, mientras que el escenario de Combustóleo presenta un incremento de 15%. Un desempeño similar se observa en términos de las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad de producto interno bruto el cual muestra cambios de -56%, -38% y 23% para los escenarios de FRE, Gas Natural y Combustóleo, respectivamente. Finalmente, en el caso de emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita, el escenario de FRE muestra reducciones de 3% mientras que el escenario de Gas Natural y de Combustóleo muestra incrementos de 37% y 172%, respectivamente.



**TABLA 2.0 INDICADORES ENERGÉTICOS AMBIENTALES.**

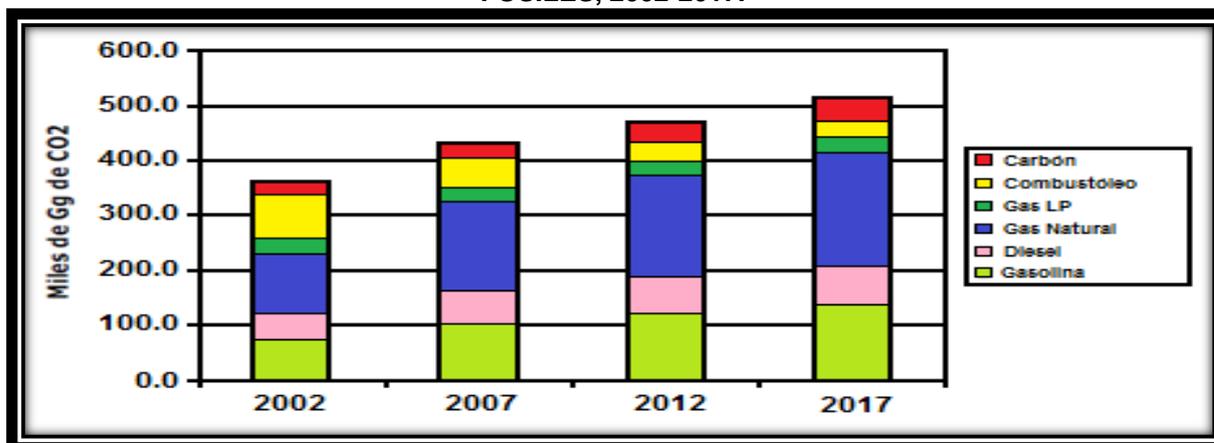
Año	Escenarios	Energía (millones GJ)	CO <sub>2</sub> (millones de toneladas)	Metano (toneladas)	NO <sub>x</sub> (miles de toneladas)	SO <sub>x</sub> (miles de toneladas)
1996		1580	80	360	255	1050
2025	Combustóleo	5280	309	886	1040	3900
2025	Gas Natural	3820	156	9990	703	835
2025	Renovable	5020	110	3340	459	602
% de cambio respecto al escenario de combustóleo						
2025	Combustóleo	-	-	-	-	-
2025	Gas Natural	-28%	-50%	1028%	-32%	-79%
2025	Renovable	-5%	-64%	277%	-56%	-85%

Fuente: Instituto de Investigaciones Legislativas del Senado de la República.

### 2.7 LOS ESCENARIOS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES

De manera global, la estimación de emisiones de gases de efecto invernadero por quema de combustibles fósiles al 2017, con base en las proyecciones de la SENER, prevé un crecimiento general de 41% en emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> para el sector de la energía en México respecto de 2002, resaltando los crecimientos de las emisiones de la gasolina (en 73%) y del gas natural (en 93%) (Figura 2.8).

**FIGURA 2.8 PARTICIPACIÓN EN EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES, 2002-2017.**



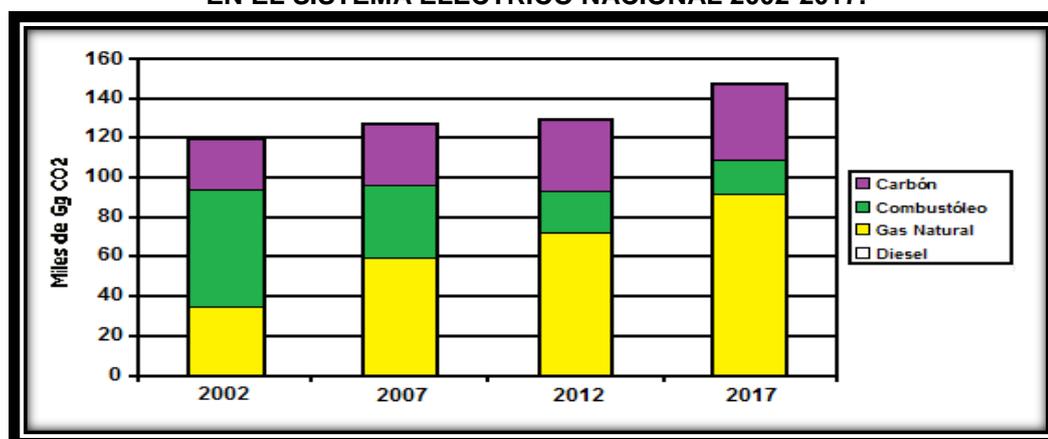
Fuente: Elaboración de ENTE, S.C., con base en datos de SENER e IPCC

### 2.7.1 LOS ESCENARIOS DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL

El Sistema Eléctrico Nacional tiene actualmente emisiones cercanas a los 125 mil Gg de CO<sub>2</sub>. Con base en las proyecciones de la SENER por tipo de planta, las emisiones futuras se ubican en cerca de 150 mil Gg de CO<sub>2</sub> para el 2017 (un crecimiento de 20% en diez años) (Figura 2.9).



FIGURA 2.9 EVOLUCIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> POR QUEMA DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL 2002-2017.



Fuente: Elaboración de ENTE, S.C., con base en datos de SENER e IPCC.

## 2.8 CO-BENEFICIOS DE LAS ACCIONES DE MITIGACIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO.

Las políticas y medidas destinadas a mitigar gases de efecto invernadero pueden aportar otros beneficios y costos sociales (también llamados subsidiarios o co-beneficios y costos). Diversos estudios han emprendido análisis para evaluar esos impactos. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el término *co-beneficio* se refiere a aquellos beneficios de las políticas que son implementadas por varias razones al mismo tiempo –incluyendo la mitigación del cambio climático. El término *co-impacto* también es utilizado en un sentido más genérico para cubrir los lados positivos y negativos de los beneficios.

Asimismo y aun cuando se puede percibir de manera evidente que la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> globales es el principal motor para llevar a cabo acciones orientadas a mitigar el cambio climático, sus efectos tienen igual relevancia en lo que se refiere a disminución de contaminantes locales.

Ahora bien, en términos de las acciones para la reducción de emisiones en el sector eléctrico, el análisis de co-beneficios resulta complicado, en tanto que la mayor parte de la electricidad generada para uso final ocurre fuera de la zona de consumo. No obstante, los impactos ambientales, y en particular la emisión de gases contaminantes y partículas derivados de la generación de electricidad, se pueden ver reflejados en otras zonas más allá del área que circunda las centrales de generación, a pesar de que no sean cuantificables ni medibles con precisión.

Por ello, en una determinación de los co-beneficios de las acciones de mitigación por reducción del consumo de energía eléctrica o por eficiencia energética, es posible que la disminución de contaminantes locales (particularmente en el aire bajo la forma de CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> y CH<sub>4</sub>) resulte menor a la de otras medidas, como la mitigación en el sector transporte que sí tiene efectos directos sobre la contaminación local del aire. Dicho lo anterior, podemos definir los siguientes tipos de co-beneficios asociados a las acciones de mitigación del sector eléctrico:

• **Por la contaminación derivada de la operación de centrales convencionales y generación de electricidad**, partiendo del hecho de que se reducirá el consumo de combustibles fósiles para la generación de electricidad y, por ende, las emisiones de otros gases contaminantes y partículas.

- Disminución de la lluvia ácida.
- Menos smog fotoquímico.
- Reducción en los efectos para la salud humana, particularmente en enfermedades respiratorias y cardiopatías.
- Menor contaminación del agua, tanto en la operación de las plantas como en la contaminación de ecosistemas acuáticos.



- Disminución de los efectos adversos para ecosistemas vegetales y animales, derivados de la menor absorción de emisiones contaminantes.
- **Económicos**, considerando que la implementación de medidas y políticas de mitigación, particularmente el uso de tecnologías que permiten la eficiencia energética en equipos y sistemas de uso final de energía, trae consigo el ahorro en términos de reducción de los costos para usuarios finales por concepto de la factura eléctrica.
  - En sectores productivos.
  - En el sector residencial.
  - En el sector comercial y de servicios.
- **En la seguridad en el suministro de energía**, por la diversificación de fuentes de energía para la generación de electricidad.
- **En la generación de empleos**, por la integración en la cadena productiva nacional de empresas de servicios y fabricación de equipos y sistemas eficientes en el uso de electricidad y para la generación de energía eléctrica aprovechando energías renovables.
- **En la productividad y competitividad de sectores industriales y comerciales**, por el aprovechamiento de oportunidades de cogeneración y autoabastecimiento, incluyendo la utilización de energías renovables en procesos intensivos de uso de electricidad, así como en:
  - La reducción de la “huella de carbono” de las empresas.
  - En la disminución de la vulnerabilidad regulatoria asociada con el castigo a productos con alto contenido de carbono en ciertos mercados de exportación, como la Unión Europea.

## 2.9 IMPACTOS AMBIENTALES ASOCIADOS CON LA OPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD.

Otro elemento que ha sido ampliamente estudiado con relación a los impactos ambientales por la generación de electricidad, tiene que ver con las diferentes etapas que involucra el proceso de generación de electricidad (construcción y operación) de las centrales. De manera general, los impactos ambientales están principalmente relacionados con efectos adversos locales (en las zonas de operación y poblaciones humanas cercanas a las centrales), así como los posibles efectos en la biodiversidad y la contaminación de agua, tanto utilizada en los procesos como los recursos hídricos (Tabla 2.1).

TABLA 2.1 IMPACTOS AMBIENTALES POR OPERACIÓN DE CENTRALES ELÉCTRICAS.	
TIPO DE CENTRAL	TIPO DE IMPACTOS AMBIENTALES
Carboeléctricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de superficie de tierra por apertura de minas, incluyendo daños al subsuelo e infraestructura urbana cercana</li> <li>• Contaminación del agua debido a flujo de agua residual de minas</li> <li>• Contaminación del agua por residuos sólidos y líquidos de las plantas</li> <li>• Pérdida de bosques, cosechas y especies animales por absorción de gases contaminantes resultantes de la combustión de carbón de la planta</li> </ul>
Centrales de combustóleo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación del agua por derrames en el transporte de combustible y accidentes</li> <li>• Contaminación del agua debido a residuos sólidos y líquidos resultantes de la operación de la planta</li> <li>• Pérdida de bosques, cosechas y especies animales por la absorción de gases contaminantes resultantes de la combustión de petróleo de la planta</li> </ul>
Centrales a gas natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de bosques, cosechas y especies animales por la absorción de gases contaminantes resultantes de la combustión de petróleo de la planta</li> </ul>
Nucleoeléctricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de superficies de tierra por minas de uranio</li> <li>• Contaminación del agua por derrame de líquidos en las minas</li> <li>• Efectos de radiación en especies vegetales y animales en el caso de accidentes severos</li> <li>• Calentamiento de agua por el calor de desecho</li> </ul>
Grandes centrales hidroeléctricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en el clima local y regional</li> <li>• Influencia en las reservas pesqueras</li> <li>• Manejo de agua y control de flujos de agua para otros usos</li> <li>• Influencia negativa en las tierras aledañas, que pueden sufrir sequías o inundaciones, con cambios significativos en los niveles de calidad de los mantos acuíferos subterráneos</li> </ul>

Fuente: IAEA, 1999.



## 2.10 SMOG Y LLUVIA ÁCIDA



En particular, el “smog” proviene de la reacción química de los óxidos de nitrógeno (NOx) con los hidrocarburos no quemados. Su producción tiene dos causas principales: la primera de ellas es la oxidación del nitrógeno contenido en el aire como producto de la combustión (NOx térmico) y la segunda, la reacción del nitrógeno contenido en la composición del combustible (NOx del combustible).

Otro problema ambiental relacionado con la generación de electricidad es la lluvia ácida. Los principales compuestos relacionados con su formación son la emisión de altas concentraciones de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y de NOx. Dichos compuestos reaccionan en las nubes formando una mezcla de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>), los cuales se precipitan a través de la lluvia y nieve. También se deposita acidez en la superficie en forma de partículas secas que en contacto con la lluvia originan un medio corrosivo.

## 2.11 IMPACTOS A LA SALUD Y LOS ECOSISTEMAS.

Otro peligro relacionado con la combustión de carbón y otros combustibles fósiles tiene que ver con la emisión de partículas suspendidas en la atmósfera (materia particulada o partículas de materia, PM). Las PM son una causa de ciertos problemas graves para la salud humana, incluidas cardiopatías y enfermedades respiratorias.

Tienen también efectos adversos en la vegetación y los materiales de las edificaciones, además de contribuir a la bruma regional y los problemas de visibilidad. Las partículas y las emisiones que contribuyen a su formación se transportan en el aire a grandes distancias.

## 2.12 IMPACTOS AMBIENTALES MÁS ALLÁ DE LA GENERACIÓN LOCAL.

Los impactos ambientales asociados con las formas más convencionales de generación de electricidad no están limitados a las inmediaciones del lugar donde estas centrales operan. La capacidad de transporte a distancias medianas y largas de los contaminantes emitidos por las centrales eléctricas —ozono de bajo nivel y sus precursores, como el óxido de nitrógeno (NOx), contaminación ácida, partículas y mercurio, por nombrar algunos— ha sido bien documentada.

También los contaminantes orgánicos persistentes pueden viajar miles de kilómetros, transportados por las corrientes de aire, desde su lugar de origen, antes de depositarse e incorporarse en la cadena alimentaria de comunidades distantes. Otras emisiones, por ejemplo, el CO<sub>2</sub> y los gases agotadores del ozono estratosférico, son de preocupación global, no importando en dónde se originen. Las centrales eléctricas pueden incluso generar efectos negativos en la vida silvestre lejos del sitio de la actividad, afectando especialmente a especies migratorias que dependen de corredores y ecosistemas especializados en múltiples regiones.



### CAPÍTULO 3 SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL



#### 3.1 EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA ECONOMÍA Y EL CONSUMO MUNDIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

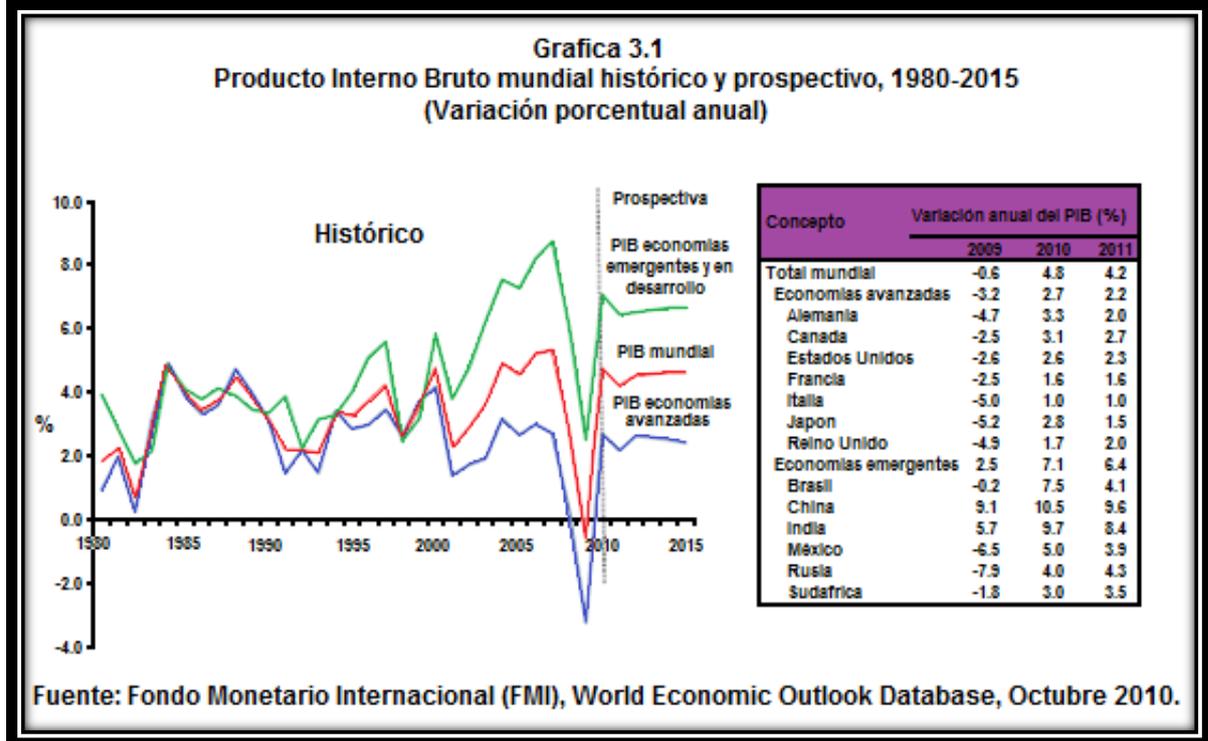
Con base en información del World Economic Outlook 2010 (WEO), del Fondo Monetario Internacional (FMI), durante 2009 la economía mundial decreció -0.6% (Ver gráfica 3.1). Como resultado de la crisis económica internacional de ese año, las economías desarrolladas sufrieron una recesión que en conjunto representó una caída de -3.2%, efecto que estuvo más acentuado en países como Japón, Alemania, Italia y Reino Unido, en los cuales el decrecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) fue de alrededor de -5.0%. En el caso de las economías emergentes, las mayores caídas del PIB se presentaron en Rusia y México con -7.9% y -6.5%.

En sentido opuesto, aunque con una desaceleración de su crecimiento económico observado durante los últimos años, China, India y los países de Medio Oriente registraron crecimientos del PIB de 9.1%, 5.7% y 2.4%, respectivamente.

En el caso de los países que experimentan un creciente intercambio comercial con China, como es el caso de Brasil, el impacto de la crisis fue mucho menor (-0.2%) en comparación con aquellos países que son altamente dependientes en sus flujos comerciales con el epicentro de la crisis, es decir, con los Estados Unidos. Este tipo de efectos representaron, en cierta medida, un grado de amortiguamiento a la crisis económica mundial. La más reciente actualización del WEO por parte del FMI estimó para 2010 un crecimiento del PIB mundial de 4.8%, mientras que las economías desarrolladas y las economías emergentes crecerían en promedio 2.7% y 7.1%, respectivamente.

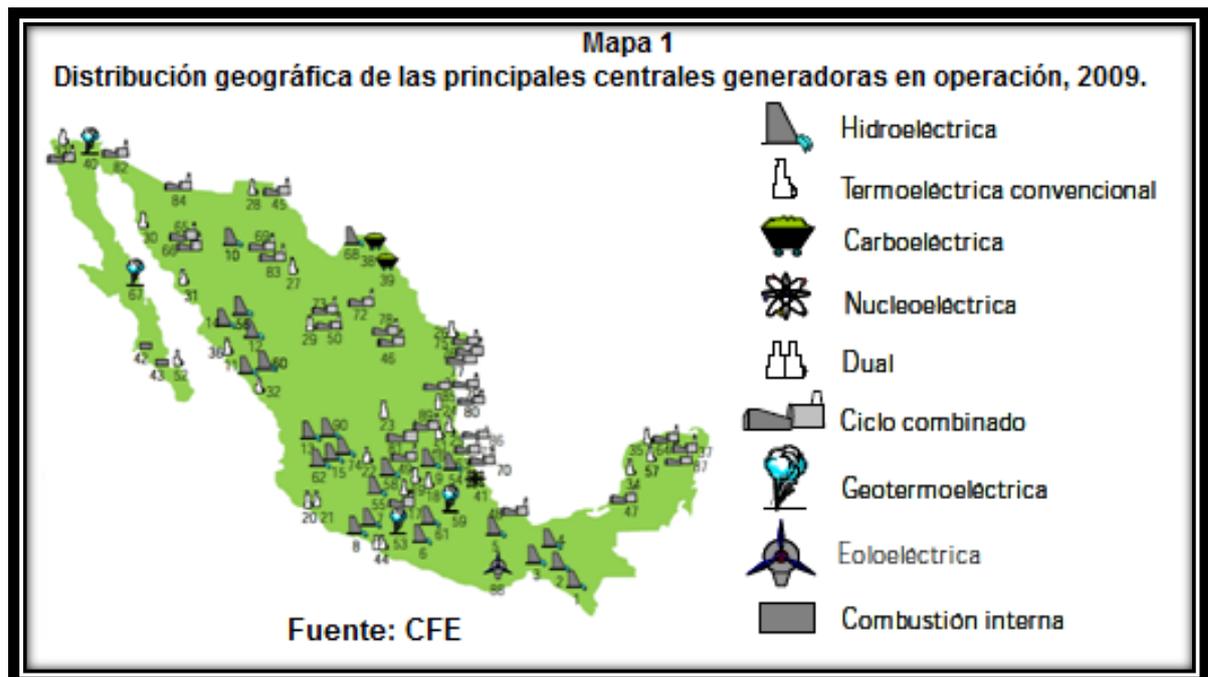
La materialización de dicho crecimiento, siguiendo al FMI, dependerá de la implementación de las políticas adecuadas para restituir la confianza y la estabilidad económica en la zona del euro, principalmente. En ese sentido, se requerirá que las economías avanzadas dirijan sus esfuerzos hacia reformas fiscales que se acompañen de otras reformas en el sector financiero para mejorar la competitividad e impulsar el crecimiento.

Asimismo, para las economías emergentes, los supuestos radican en que deberá ajustarse un nuevo balance de la demanda global a través de reformas estructurales y, en algunos casos, mediante una mayor flexibilización de los tipos de cambio. Con base en dichos supuestos, el FMI estima que para el periodo 2010-2015 el crecimiento promedio podría ser de 4.6% para la economía mundial, 2.5% para las economías desarrolladas y de 6.7% para las economías emergentes.



### 3.2 TENDENCIA MUNDIAL EN LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES Y OTRAS FUENTES PRIMARIAS PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

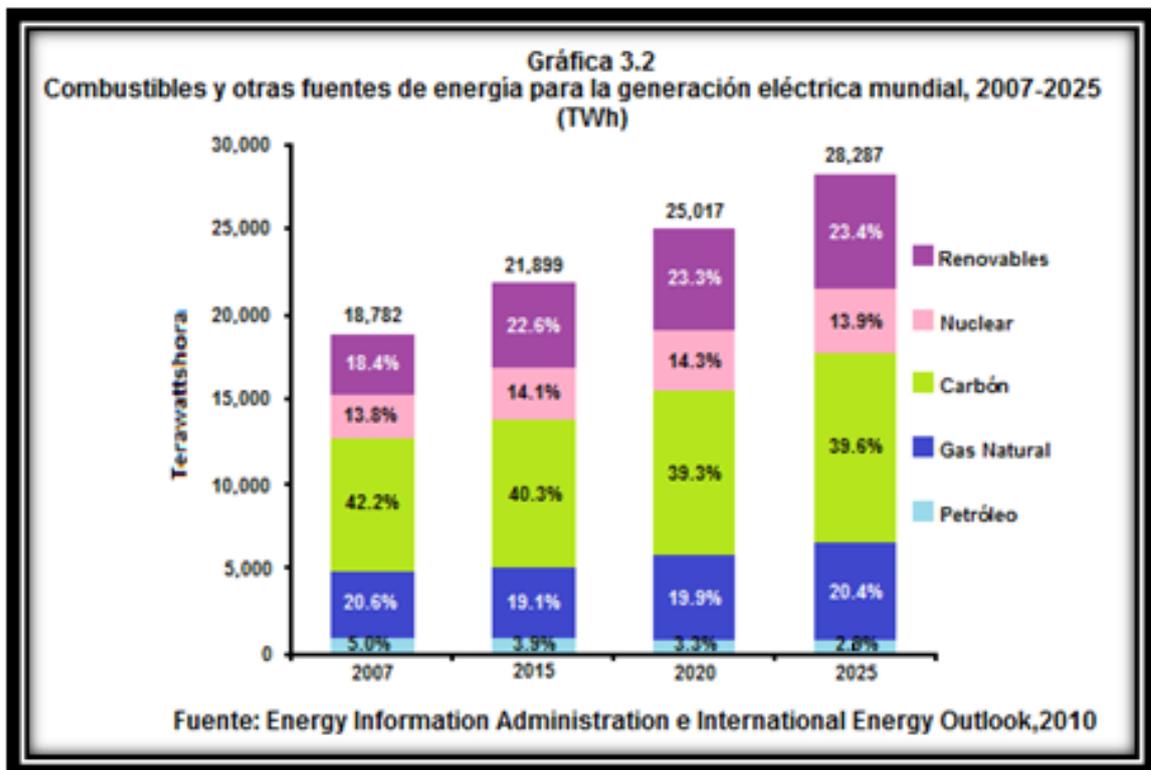
En el entorno internacional, el uso de la energía primaria y secundaria para generación de electricidad depende de diferentes factores que varían de una región a otra, así como de la disponibilidad de recursos económicamente competitivos. Adicionalmente, la utilización de dichas fuentes depende de las restricciones imperantes por la volatilidad en los precios de los energéticos, la disponibilidad de los combustibles, el impacto social, así como por la normatividad ambiental.





Las estimaciones indican que durante los próximos años, los combustibles de mayor utilización para generación de electricidad en el mundo serán el carbón y el gas natural, en detrimento de la utilización de combustibles derivados del petróleo, como es el caso del combustóleo. Esto obedece a la volatilidad en los precios del combustible y a la disponibilidad de tecnologías de mayor eficiencia y con un impacto ambiental sensiblemente menor que las plantas convencionales que utilizan derivados del petróleo. Se estima que durante el periodo 2007-2025, la fuente primaria de mayor crecimiento en la generación eléctrica serán las energías renovables (Ver gráfica 3.2), que pasarán de 18.4% a 23.4%, lo cual complementará la participación mayoritaria del carbón que se mantendrá en 39.6% y al gas natural con 20.4% hacia ese último año.

Hacia el final del periodo, se estima que la energía nuclear se mantendrá prácticamente en el mismo nivel de participación. Mientras que la participación de los derivados del petróleo se reducirá de 5% a 2.8% de la generación mundial de electricidad. Hacia 2025 y sólo después del carbón, las energías renovables (incluyendo las grandes hidroeléctricas a desarrollarse en Asia y Sudamérica) tendrán la mayor participación en la generación mundial de energía eléctrica, seguidas por el gas natural.



### 3.2.1 ENERGÍA RENOVABLE

Las fuentes de energía renovable son hoy en día una alternativa con un extenso potencial para disminuir la dependencia global en el consumo de combustibles fósiles. Sus aplicaciones tanto en operación como potenciales, han venido creciendo hasta abarcar prácticamente todos los usos finales de la energía en el mundo. Desde los procesos de secado o deshumidificación de granos (por ejemplo el café) a cielo abierto hasta la generación de electricidad por medio de paneles solares instalados en las sondas espaciales, las energías renovables tienen gran relevancia.

En la actualidad, el aprovechamiento de las fuentes renovables para generar electricidad muestra niveles de desarrollo asimétrico entre economías avanzadas y economías en desarrollo o emergentes. A excepción de Canadá y Turquía, donde se tienen planes para el desarrollo de grandes proyectos hidroeléctricos, en las economías OCDE la mayor parte de los recursos hidroeléctricos económicamente explotables ya han sido desarrollados, por lo que la mayor parte del crecimiento en las energías renovables en esos países corresponden a fuentes diferentes a la hidráulica, como lo es el viento y la biomasa.



En varios de estos países, principalmente en Europa, se han implementado políticas de estímulo para impulsar su aprovechamiento, por medio de incentivos financieros (feed-in tariffs), incentivos fiscales, fijación de cotas de mercado, entre otros instrumentos. En el caso de las economías emergentes y en desarrollo, se considera que la energía hidroeléctrica será la que aporte el mayor impulso durante los próximos años.

Específicamente se proyecta un fuerte desarrollo hidroeléctrico en gran escala en China, India, Brasil y varias naciones del sureste asiático como Malasia y Vietnam. Además de la hidroeléctrica, la energía eólica tendrá una dinámica expansión en China.

### 3.3 MARCO REGULATORIO DEL SECTOR ELÉCTRICO

Se describen brevemente los ordenamientos jurídicos aplicables a las actividades de generación, conducción, transmisión, transformación, distribución, abastecimiento, importación y exportación de energía eléctrica. Se mencionan los nuevos instrumentos de regulación orientados a la promoción del desarrollo de las energías renovables y la cogeneración eficiente en México.

Adicionalmente, se presenta la evolución observada en el otorgamiento de permisos para generación de energía eléctrica durante los últimos años. Para tales permisos se indica la capacidad autorizada y en operación, así como la situación actual de los proyectos en cada modalidad, de los cuales destacan, por su capacidad instalada y número de permisos, la producción independiente y el autoabastecimiento, respectivamente, así como la cogeneración, modalidad que representa un importante potencial de desarrollo para el ahorro y la eficiencia energética.

Los principales ordenamientos legales que regulan la prestación del servicio público de energía eléctrica son:

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Artículos 25, 27 y 28).
- Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.
- Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- Ley de la Comisión Reguladora de Energía.
- Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.
- Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.
- Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear.
- Ley de Responsabilidad Civil por Daños Nucleares.
- Ley del Sistema de Horario en los Estados Unidos Mexicanos.
- Ley Federal de las Entidades Paraestatales.
- Ley Federal Sobre Metrología y Normalización.
- Ley de Energía para el Campo.
- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica en Materia de Aportaciones.
- Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética.
- Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.
- Reglamento de la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización.
- Reglamento de la Ley Federal de las Entidades Paraestatales.
- Reglamento General de Seguridad Radiológica.

#### 3.3.1 MARCO CONSTITUCIONAL

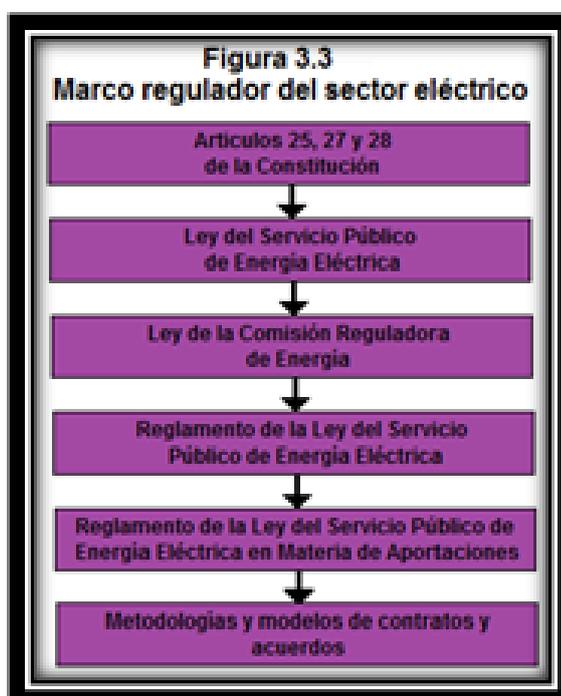
Las disposiciones constitucionales aplicables al sector eléctrico, se encuentran fundamentalmente consignadas en los artículos 25, 27 y 28 de nuestra Carta Magna. Corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la soberanía de la Nación y su régimen democrático y que, mediante el fomento del crecimiento económico y el empleo y una más justa distribución del ingreso y la riqueza, permita el pleno ejercicio de la libertad y la dignidad de los individuos, grupos y clases sociales, cuya seguridad protege esta



regulación y fomento de las actividades que demande el interés general en el marco de libertades que otorga ésta.

Asimismo, establece que el sector público tendrá a su cargo, de manera exclusiva, las áreas estratégicas que se señalan en el Artículo 28, conforme a lo establecido en el Artículo 27, corresponde exclusivamente a la Nación generar, conducir, transformar, distribuir y abastecer energía eléctrica que tenga por objeto la prestación de servicio público.

En esta materia no se otorgarán concesiones a los particulares y la Nación aprovechará los bienes y recursos naturales que se requieran para dichos fines. El Artículo 28, párrafo cuarto, precisa que no constituirán monopolios las funciones que el Estado ejerza de manera exclusiva en las áreas estratégicas que se determinan en dicho artículo, entre las que se encuentra la electricidad. Este precepto también establece que el Estado lleva a cabo estas actividades estratégicas, a través de organismos y empresas que requiera para su eficaz manejo.



Fuente: CRE

### 3.4 EJES RECTORES DE LA ESTRATEGIA NACIONAL DE ENERGÍA

La Estrategia Nacional de Energía define el rumbo del sector energético con base en tres grandes Ejes Rectores:

#### 1) Seguridad Energética:

- Diversificar la disponibilidad y uso de energéticos, asegurando la infraestructura para un suministro suficiente, confiable, de alta calidad y a precios competitivos.
- Satisfacer las necesidades energéticas básicas de la población presente y futura.
- Desarrollar las capacidades humanas y tecnológicas para la producción y el aprovechamiento eficiente de la energía.

#### 2) Eficiencia Económica y Productiva:

- Proveer la energía demandada por el país al menor costo posible.
- Contar con una oferta suficiente, continua, de alta calidad y a precios competitivos.
- Aprovechar de manera eficiente los recursos energéticos.



- Contar con mercados nacionales vinculados a los mercados internacionales, donde las empresas del Estado sean competitivas, eficientes financiera y operativamente, con capacidad de autogestión y sujetas a transparencia y rendición de cuentas.
- Alcanzar y mantener estándares internacionales de seguridad industrial.
- Desarrollar los proyectos de inversión en infraestructura adoptando las mejores prácticas.

### 3) Sustentabilidad Ambiental:

- Reducir de manera progresiva los impactos ambientales asociados a la producción y consumo de energía.
- Hacer uso racional del recurso hídrico y de suelos en el sector energético.
- Realizar acciones para remediar y evitar los impactos ambientales en zonas afectadas por las actividades relacionadas con la producción y consumo de energéticos.

## 3.5 MARCO REGULATORIO DEL SECTOR ELÉCTRICO

La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica (LSPEE), publicada en el Diario Oficial de la Federación (DOF) en 1975, establece en su Artículo 36 las atribuciones de la Secretaría de Energía para el otorgamiento de permisos para la generación de energía eléctrica, considerando los criterios y lineamientos de la política energética nacional y oyendo la opinión de la Comisión Federal de Electricidad (CFE).

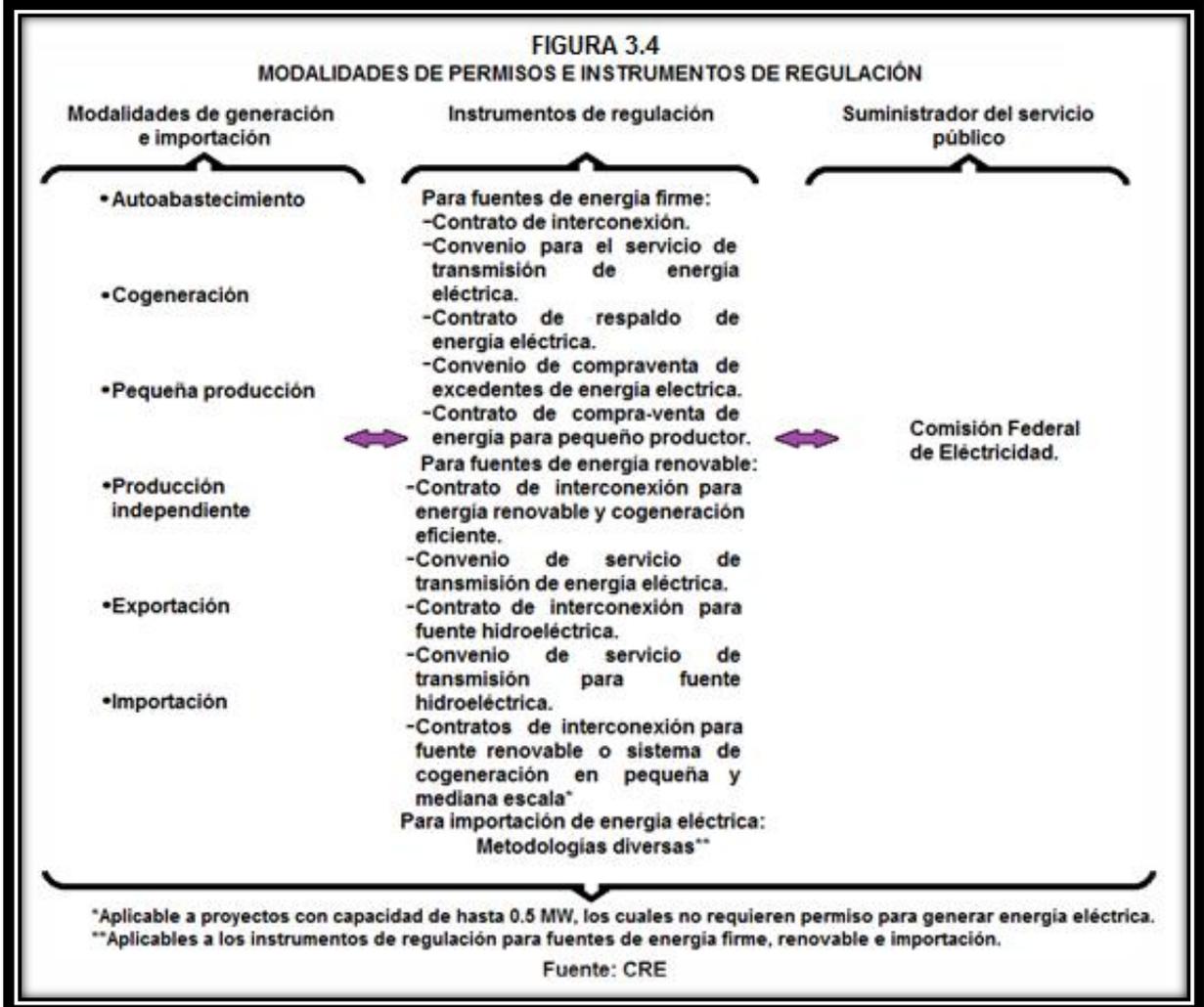
Con el objetivo de incentivar la participación de particulares en la expansión del sistema eléctrico, el Congreso de la Unión ha modificado la LSPEE en diferentes ocasiones para incorporar nuevas modalidades de generación de energía eléctrica que no se consideran servicio público, tal es el caso de la reforma a dicha Ley publicada en el DOF el 23 de diciembre de 1992, en la cual se incorporaron las modalidades de: cogeneración, productor independiente, pequeña producción y exportación e importación de energía eléctrica.

De todas las modalidades, la producción independiente de energía ha presentado el mayor dinamismo en cuanto a capacidad instalada se refiere, debido principalmente a su vinculación directa con los planes de expansión de CFE y a los esquemas de financiamiento que en esta modalidad se aplican. Asimismo, en la búsqueda de una mayor eficiencia energética y menor impacto ambiental, la expansión de la oferta de energía eléctrica bajo la modalidad de producción independiente se ha llevado a cabo, principalmente mediante centrales con tecnología de ciclo combinado cuya producción se destina exclusivamente a la CFE.

Otras modalidades como es el caso de autoabastecimiento y cogeneración, representan diferentes áreas de oportunidad, mediante las cuales se pueden aprovechar capacidades aún no explotadas, como incrementar la eficiencia térmica de un proceso industrial, optimizar el uso de combustibles, reducir emisiones, garantizar estabilidad en frecuencia y voltaje, entre otras ventajas.

En el caso de las variadas ramas industriales así como en Petróleos Mexicanos (PEMEX), la posibilidad de generar energía eléctrica a costos competitivos representa un factor importante que permite incrementar la eficiencia de sus procesos y con ello la competitividad de las empresas.

Por otro lado, la participación de la iniciativa privada en áreas no reservadas en forma exclusiva a la Nación, como es el caso de la generación de electricidad que se destine a fines distintos del servicio público, puede permitirle al Estado canalizar recursos hacia otras necesidades sociales y con ello, diferir la carga financiera que representa la expansión del servicio público de energía eléctrica. Mediante los instrumentos de regulación se establecen lineamientos y mecanismos de interrelación entre los particulares y el suministrador del servicio público (CFE). Estos mecanismos se esquematizan a continuación (véase figura 3.4).



### 3.6 ÓRGANO REGULADOR

Desde 1995, con la expedición de la Ley de la Comisión Reguladora de Energía, este órgano cuenta con facultades de regulación en materia de energía eléctrica, entre otras. A partir de ese año, la Comisión Reguladora de Energía (CRE) se constituyó como autoridad reguladora y pasó de ser un órgano consultivo en materia de electricidad a un órgano desconcentrado de la Secretaría de Energía con autonomía técnica, operativa, de gestión y de decisión.



**TABLA 3.0 COMISIÓN REGULADORA DE ENERGÍA.**

El objetivo fundamental de la CRE es promover el desarrollo eficiente de las actividades a que se refiere el Artículo 2 de su propia Ley, mediante una regulación que permita:	En lo concerniente al sector eléctrico, la CRE tiene por objeto promover el desarrollo eficiente de las siguientes actividades:	Para la consecución de lo anterior, la CRE cuenta, entre otras, con las siguientes atribuciones en materia de energía eléctrica establecidas en su propia Ley:
Salvaguardar la prestación de los servicios públicos.	El suministro y venta de energía eléctrica a los usuarios del servicio público.	Aprobar los instrumentos de regulación entre permisionarios de generación e importación de energía eléctrica y los suministradores del servicio público.
Fomentar una sana competencia.	La generación, exportación e importación de energía eléctrica, que realicen los particulares.	Participar en la determinación de las tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica.
Proteger los intereses de los usuarios.	La adquisición de energía eléctrica que se destine al servicio público.	Aprobar los criterios y las bases para determinar el monto de las aportaciones de los gobiernos de las entidades federativas, ayuntamientos y beneficiarios del servicio público de energía eléctrica, para la realización de obras específicas, ampliaciones o modificaciones de las existentes, solicitadas por aquellos para el suministro de energía eléctrica.
Propiciar una adecuada cobertura nacional.	Los servicios de conducción, transformación y entrega de energía entre entidades que tienen a su cargo el servicio público, y entre éstas y los titulares de permisos para la generación, exportación e importación de energía eléctrica.	Verificar que en la prestación del servicio público de energía eléctrica, se adquiera aquélla que resulte de menor costo y ofrezca además, óptima estabilidad, calidad y seguridad para el SEN.
Atender la confiabilidad, estabilidad, seguridad en el suministro y prestación de los servicios.		Aprobar las metodologías para el cálculo de las contraprestaciones por la adquisición de energía eléctrica que se destine al servicio público.
		Aprobar las metodologías para el cálculo de las contraprestaciones por los servicios de conducción, transformación y entrega de energía eléctrica.
		Otorgar y revocar los permisos y autorizaciones que, conforme a las disposiciones legales aplicables, se requieren para la realización de las actividades reguladas.
		Aprobar y expedir modelos de convenios y contratos de adhesión para la realización de las actividades reguladas.
		Expedir y vigilar el cumplimiento de las disposiciones administrativas de carácter general, aplicables a las personas que realicen actividades reguladas.

FUENTE: CRE. ELABORACIÓN PROPIA.

En materia de regulación tarifaria, el Artículo 31 de la LSPEE establece que la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, con la participación de las Secretarías de Energía, Minas e Industria Paraestatal y de Comercio y Fomento Industrial y a propuesta de la CFE, fijará las tarifas, su ajuste o reestructuración, de manera que tienda a cubrir las necesidades financieras y las de ampliación del servicio público, y el racional consumo de energía.

### 3.7 MODALIDADES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA QUE NO CONSTITUYE SERVICIO PÚBLICO

De acuerdo a lo establecido en la LSPEE y su Reglamento, las modalidades bajo las cuales los particulares pueden tramitar y, en su caso, obtener permisos para la generación e importación de energía eléctrica, consisten en las siguientes:



**TABLA 3.1 MODALIDADES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA QUE NO CONSTITUYE SERVICIO PÚBLICO**

<b>Autoabastecimiento</b>	Es la generación de energía eléctrica para fines de autoconsumo siempre y cuando dicha energía se destine a satisfacer las necesidades de personas físicas o morales y no resulte inconveniente para el país.		
<b>Cogeneración</b>	Es la producción de energía eléctrica conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas.	Para esta modalidad es necesario que la electricidad generada se destine a la satisfacción de las necesidades de establecimientos asociados a la cogeneración, entendidos por tales, los de las personas físicas o morales que:	Utilizan o producen el vapor, la energía térmica o los combustibles que dan lugar a los procesos base de la cogeneración.
	Es la producción directa e indirecta de energía eléctrica a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos de que se trate.		Sean copropietarios de las instalaciones o miembros de la sociedad constituida para realizar el proyecto.
	Es la producción directa o indirecta de energía eléctrica utilizando combustibles producidos en los procesos de que se trate.		
<b>Producción independiente</b>	Es la generación de energía eléctrica proveniente de una planta con capacidad mayor de 30 MW, destinada exclusivamente a su venta a la CFE o a la exportación.		
<b>Pequeña producción</b>	Es la generación de energía eléctrica destinada en su totalidad a la venta a CFE, en cuyo caso los proyectos no podrán tener una capacidad total mayor de 30 MW en un área determinada. Al autoabastecimiento de pequeñas comunidades rurales o áreas aisladas que carezcan del servicio de energía eléctrica, en cuyo caso los proyectos no podrán exceder de 1 MW. A la exportación, dentro del límite máximo de 30 MW.		
<b>Exportación</b>	Es la generación de energía eléctrica para destinarse a la exportación, a través de proyectos de cogeneración, producción independiente y pequeña producción que cumplan las disposiciones legales y reglamentarias aplicables según los casos. Los permisionarios en esta modalidad no pueden enajenar dentro del territorio nacional la energía eléctrica generada, salvo que obtengan permiso de la CRE para realizar dicha actividad en la modalidad de que se trate.		
<b>Importación</b>	Es la adquisición de energía eléctrica proveniente de plantas generadoras establecidas en el extranjero mediante actos jurídicos celebrados directamente entre el abastecedor de la energía eléctrica y el consumidor de la misma.		
Fuente: CRE. Elaboración propia.			

La participación de los permisionarios en la generación eléctrica se ha incrementado en los últimos años, especialmente la modalidad de producción independiente de energía, la cual en 2009 representó el 32.2% de la generación total de energía eléctrica del servicio público.

### 3.8 INSTRUMENTOS DE REGULACIÓN

Como un mecanismo facilitador para la participación de particulares en la generación de electricidad, el marco regulatorio cuenta con instrumentos mediante los cuales los permisionarios pueden solicitar la interconexión al Sistema Eléctrico Nacional (SEN). La factibilidad de poder interconectarse con la red del servicio público, así como la certeza de contar con energía eléctrica de respaldo y la posibilidad de entregar excedentes, provee a los permisionarios de mayor flexibilidad en sus operaciones de generación e importación de energía eléctrica.

Los instrumentos de regulación consideran tanto fuentes de energía firme como renovable, además de contratos de interconexión para permisionarios de importación y compra-venta de energía eléctrica, como se describe a continuación:



### 3.8.1 PARA FUENTES FIRMES

TABLA 3.2 CONTRATOS Y CONVENIOS PARA FUENTES FIRMES	
<b>Contrato de interconexión</b>	Establece los términos y condiciones para interconectar la central de generación de energía eléctrica con el SEN. Este contrato proporciona al permisionario los elementos necesarios para administrar la demanda de los centros de carga, además de permitirle calcular los pagos por los servicios conexos proporcionados por el suministrador.
<b>Contratos de servicio de respaldo de energía eléctrica</b>	Tienen por objeto que el suministrador respalde la central de generación de energía eléctrica en caso de falla, mantenimiento o ambos. El cargo por este servicio está determinado en función de las tarifas publicadas por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
<b>Convenio de compraventa de excedentes de energía eléctrica</b>	También conocida como energía económica, establece los procedimientos y condiciones que rigen la entrega de energía eléctrica del permisionario al suministrador de acuerdo con las reglas de despacho del SEN. Este convenio considera que el permisionario pueda realizar entregas de energía económica al suministrador, para lo cual cuenta con tres procedimientos: recepción por subasta, recepción automática notificada y recepción automática no notificada.
<b>Convenio de servicio de transmisión de energía eléctrica</b>	Establece que el suministrador recibe la energía eléctrica de la central de generación en el punto de interconexión y la transporta hasta los centros de carga del permisionario de acuerdo con la capacidad de porteo contratada para cada uno de ellos.

Fuente: CRE. Elaboración propia.

### 3.8.2 PARA FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE

En 2001, la CRE aprobó una regulación específica para fuentes renovables de energía con la finalidad de fomentar el desarrollo de proyectos de generación de energía eléctrica. Estos instrumentos consideran las características de este tipo de fuentes de energía, como es la disponibilidad intermitente del energético primario y se incluyen conceptos únicamente aplicables a dichas fuentes, tales como:

TABLA 3.3 REGULACIÓN ESPECÍFICA PARA FUENTES RENOVABLES.	
<b>Energía sobrante</b>	Cuando un permisionario entrega a sus centros de consumo una cantidad de energía mayor a la correspondiente de su potencia comprometida de porteo o cuando la demanda de los centros de consumo sea menor a la potencia entregada en el punto de interconexión.
<b>Energía faltante</b>	Cuando una fuente de energía no satisface la potencia de compromiso de porteo con sus centros de consumo.
<b>Potencia Autoabastecida</b>	Se reconoce la capacidad que la fuente de energía renovable aporta en las horas de máxima demanda del SEN.

Fuente: CRE. Elaboración propia.

Para el caso de fuentes de energía renovable, es posible realizar compensaciones de energía faltante con energía sobrante, es decir, si existe energía sobrante neta en un mes, esta puede utilizarse para compensar faltantes de meses posteriores, haciendo un corte anual. De esta forma y dada la intermitencia de estas fuentes, el contrato considera la flexibilidad de estos intercambios.

Por otra parte, como resultado de los mandatos que se establecen en la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), con fecha 28 de abril de 2010, se publicó en el DOF la Resolución por la que la CRE expide el Modelo de Contrato de Interconexión para Centrales de Generación de Energía Eléctrica con Energía Renovable o Cogeneración Eficiente y sus anexos (F-RC, IB-RC, TB-RC), así como el Modelo de Convenio para el Servicio de Transmisión de Energía Eléctrica para Fuente de Energía. Dichos instrumentos, además de ser aplicables a energías renovables, se hacen extensivos a proyectos de cogeneración eficiente. Los instrumentos vigentes que tienen por objeto regular las actividades antes mencionadas, son los siguientes:



<b>TABLA 3.4 MODELOS DE CONTRATOS Y CONVENIOS PARA FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE Y COGENERACIÓN EFICIENTE UTILIZADOS POR LOS PERMISIONARIOS.</b>	
<b>Contrato de Interconexión para Centrales de Generación de Energía Eléctrica con Energía Renovable o Cogeneración Eficiente</b>	Tiene por objeto realizar y mantener, durante la vigencia del mismo, la interconexión entre el SEN y la fuente de energía renovable o de cogeneración eficiente del permisionario. Con la implementación de este instrumento regulatorio, se busca crear las condiciones que reconozcan las características específicas de cada tecnología, con el propósito de que los costos en que se incurra con dichos proyectos resulten competitivos, a través de procesos eficientes en la generación a partir de energía renovable.
<b>Convenio para el servicio de transmisión de energía eléctrica para fuente de energía</b>	Instrumento legal aplicable para transportar la energía eléctrica desde el sitio de la fuente de energía del permisionario hasta donde se localizan sus centros de consumo, para uso exclusivo del solicitante (permisionario) y de sus socios que requieran recibir la energía en uno o más puntos de carga.
<b>Contrato de interconexión para fuente de energía hidroeléctrica</b>	Regula la interconexión entre el SEN y la fuente de energía hidroeléctrica del Permisionario tomando en cuenta que la LAERFTE establece un límite de 30 MW para estos proyectos.
<b>Convenio para el servicio de transmisión de energía eléctrica para fuente de energía hidroeléctrica</b>	Permite regular las operaciones entre el permisionario que requiere usar el SEN para llevar energía eléctrica desde su fuente de energía hidroeléctrica hasta sus centros de consumo, solicitando el servicio de transmisión al suministrador quien llevará a cabo los estudios de factibilidad correspondientes. En caso de resultar factible el servicio, las partes celebrarán un convenio, para lo cual se sujetará a lo establecido por la CRE en la metodología de transmisión para hidroeléctricas por la que se autorizan los cargos correspondientes a los servicios de transmisión.

Fuente: CRE. Elaboración propia.

<b>TABLA 3.5 MODELOS DE CONTRATOS Y CONVENIOS PARA FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE Y COGENERACIÓN EFICIENTE, UTILIZADOS POR GENERADORES QUE NO REQUIEREN PERMISO DE GENERACIÓN.</b>	
<b>Contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala</b>	Este contrato es aplicable sólo a los generadores con fuente de energía renovable y a los generadores con sistema de cogeneración en pequeña escala con capacidad de hasta 30 kW, que se interconecten a la red eléctrica del suministrador en tensiones inferiores a 1 kV, y que no requieren hacer uso del sistema del suministrador para portear energía a sus cargas.
<b>Contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en mediana escala</b>	Este contrato es aplicable sólo a los generadores con fuente de energía renovable y a los generadores con sistema de cogeneración en mediana escala con capacidad de hasta 500 kW, que se interconecten a la red eléctrica del suministrador en tensiones mayores a 1 kV y menores a 69 kV, y que no requieren hacer uso del sistema del suministrador para portear energía a sus cargas.
<b>Para importación de energía eléctrica</b>	A excepción de tres permisionarios establecidos en el estado de Coahuila, la totalidad de los permisionarios de importación de energía eléctrica se ubican en las áreas de control de Baja California y Noroeste, específicamente en los estados de Baja California y Sonora. Con el fin de realizar las operaciones de importación de electricidad para autoabasto, el 17 de mayo de 2004 se publicó en el DOF la resolución por la cual se aprueba el modelo de contrato de interconexión de permisionarios ubicados en el área de control de Baja California que importan energía a través del Consejo Coordinador de Electricidad del Oeste (Western Electricity Coordinating Council -WECC) de los EUA, el cual regula las operaciones entre CFE y los permisionarios de importación. El contrato de interconexión para permisionarios ubicados en el área de control de Baja California, tiene por objeto que la CFE realice la transmisión de energía de importación entre el punto de interconexión y el punto de carga del permisionario, de manera que este contrato sirva de marco para todas las operaciones con el permisionario.

Fuente: CRE. Elaboración propia.

### 3.8.3 COMPRA-VENTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El 20 de abril de 2007, se publicó en el DOF la Resolución número RES/085/2007, por la que se aprueba el modelo de contrato de compromiso de compra-venta de energía eléctrica para pequeño productor en el Sistema Interconectado Nacional, este contrato tiene por objeto realizar y mantener, durante la vigencia del mismo, la compra-venta de energía eléctrica entre el suministrador y el permisionario, así como establecer las condiciones generales para los actos jurídicos que celebren las partes relacionadas con la compra-venta y generación de energía eléctrica.



Adicionalmente a los instrumentos de regulación mencionados, la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE), tiene por objeto regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética.

Dicha ley comprende dentro de las energías renovables, entre otras, a las que se generan a través del viento; la radiación solar; el movimiento del agua en cauces naturales o artificiales; la energía oceánica en todas sus formas; el calor de los yacimientos geotérmicos y los bioenergéticos que determine la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos.

Para lograr sus objetivos, la Ley citada prevé la Estrategia Nacional para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, como un mecanismo mediante el cual el Estado Mexicano impulsará las políticas, programas, acciones y proyectos encaminados a conseguir una mayor utilización y aprovechamiento de las fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias, promover la eficiencia y sustentabilidad energética, así como la reducción de la dependencia de México de los hidrocarburos como fuente primaria de energía.

También se prevé en la Ley mencionada, la creación del Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, con el fin de promover los objetivos de la Estrategia. Asimismo, el 2 de septiembre de 2009, se publicó en el DOF el Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, en el cual se establecen los lineamientos para la implementación de programas y estrategias de promoción de las energías renovables.

Entre dichos programas se incluye al Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables, que establece las estrategias y líneas de acción para el aprovechamiento de las energías renovables con estricto apego a las estrategias y objetivos generales del Plan Nacional de Desarrollo, del Programa Sectorial de Energía y del Programa Nacional de Infraestructura vigentes. En este sentido, la Estrategia 2 del Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables:

<b>TABLA 3.6 ELABORACIÓN DE MECANISMOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE DEL PROGRAMA ESPECIAL PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES</b>
Elaborar el Inventario Nacional de Energías Renovables.
Expedir normas, directivas, metodologías y demás disposiciones de carácter administrativo que regulen la generación de electricidad a partir de energías renovables, de conformidad con lo establecido en la Ley, atendiendo a la política energética establecida por la Secretaría.
Elaborar una metodología para valorar las externalidades asociadas con la generación de electricidad, basada en energías renovables.
Elaborar metodologías y disposiciones relevantes al pago de contraprestaciones por los servicios que se presten entre los suministradores y los generadores de electricidad a partir de energías renovables.
Contar con las metodologías adecuadas que permitan pronosticar en el corto y mediano plazo la disponibilidad local y regional de las energías renovables.
Identificar opciones apropiadas para el desarrollo de las energías renovables en el país y ordenarlas de acuerdo a sus beneficios económicos, sociales y ambientales.
Incorporar proyectos demostrativos y programas de implementación en esta materia.
Fuente: SENER. Elaboración propia.

### **3.9 AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA INDUSTRIA ELÉCTRICA**

El esfuerzo realizado en México para lograr un uso más eficiente de la energía, se caracteriza por el desarrollo institucional y programático sostenido de diversas instituciones como la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (CFE-PAESE) y el Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI), entre otras, que han sido las responsables de diseñar y aplicar programas que ya han mostrado efectos significativos, palpables y duraderos en los diversos sectores de nuestra sociedad y del territorio nacional.



El ahorro de energía eléctrica es un elemento fundamental de las políticas públicas para el cuidado de los recursos energéticos no renovables, diversificación energética, protección del medio ambiente, aumento de la productividad y competitividad de la economía, y para la protección de la economía de las familias.

### 3.9.1 NORMALIZACIÓN

La Secretaría de Energía, a través de la CONUEE, expide las Normas Oficiales Mexicanas (NOM's) de eficiencia energética, elaboradas por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), en colaboración y con el consenso de los sectores público, privado, social, y de investigación y desarrollo tecnológico.

La aplicación de las NOM's de eficiencia energética es obligatoria y regula los consumos de energía de aparatos y sistemas que ofrecen un mayor potencial de ahorro, cuyo costo-beneficio resulta favorable para el país. Actualmente existen vigentes 22 NOM's de eficiencia energética, de las cuales 16 están relacionadas con el consumo de energía eléctrica y se aplican a más de 40 millones de aparatos y sistemas en operación. Para 2005, los ahorros estimados por su aplicación, son del orden de 14,250 GWh en consumo de energía y 2,566 MW acumulados de potencia evitada.

TABLA 3.7 LISTAS DE NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN EFICIENCIA ENERGÉTICA ELÉCTRICA.		
CLAVE	FECHA	DESCRIPCIÓN
NOM-028-ENER-2010	06/12/2010	Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba.
NOM-016-ENER-2010	20/10/2010	Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado.
NOM-005-ENER-2010	03/02/2010	Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba y etiquetado.
NOM-019-ENER-2010	02/07/2009	Eficiencia térmica y eléctrica de máquinas tortilladoras mecanizadas. Límites, método de prueba y marcado.
NOM-022-ENER/SCFI-2008	11/12/2008	Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario para aparatos de refrigeración comercial autocontenidos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
NOM-017-ENER/SCFI-2008	26/08/2008	Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites, métodos de prueba.
NOM-021-ENER/SCFI-2008	04/08/2008	Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
NOM-004-ENER-2008	25/07/2008	Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0,187 kW a 0,746 kW. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
NOM-011-ENER-2006	22/06/2007	Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
NOM-001-SEDE-2005	13/03/2006	Instalaciones eléctricas (utilización).
NOM-013-ENER-2004	19/04/2005	Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas.
NOM-014-ENER-2004	19/04/2005	Eficiencia energética de motores eléctricos de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo de jaula ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0,180 kW a 1,500 kW. Límites, métodos de prueba y mercado.
NOM-010-ENER-2004	18/04/2005	Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba.
NOM-007-ENER-2004	15/04/2005	Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.
NOM-015-ENER-2002	15/01/2003	Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
NOM-016-ENER-2002	13/01/2003	Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado.
NOM-008-ENER-2001	25/04/2001	Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.
NOM-001-ENER-2000	01/09/2000	Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba.
NOM-002-SEDE-1999	13/07/1999	Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución.
NOM-018-ENER-1997	24/10/1997	Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba.
NOM-006-ENER-1995	09/11/1995	Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y métodos de prueba.
NOM-009-ENER-1995	08/11/1995	Eficiencia energética en aislamientos térmicos.

FUENTE: SECRETARÍA DE ECONOMÍA.



Con objeto de lograr el cabal cumplimiento de las normas vigentes, la CONUEE promueve y apoya el proceso de evaluación de la conformidad, en coordinación con la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), para la evaluación y acreditación de los organismos de certificación, laboratorios de prueba y unidades de verificación.

A la fecha, se encuentran acreditados y aprobados en las normas de eficiencia: dos organismos de certificación, 53 laboratorios de prueba y 232 unidades de verificación. Con la aplicación efectiva de las NOM de eficiencia energética, se estima que para 2014, se alcanzarán ahorros acumulados de 33,226 GWh en el consumo de energía eléctrica y 6,458 MW en diferimiento de capacidad.

### 3.9.2 HORARIO DE VERANO

El horario de verano consiste en adelantar el reloj una hora a escala nacional durante los meses de mayor insolación, con el fin de aprovechar mejor la luz solar y, con ello, reducir el consumo de electricidad que implica la iluminación artificial en horas pico del Sistema Eléctrico Nacional. La medida se instituyó por Decreto Presidencial en 1996, comienza el primer domingo de abril y termina el último domingo de octubre de cada año.

Con su aplicación se optimiza la utilización de la infraestructura eléctrica, a la vez que permite aplazar las inversiones en nuevas plantas generadoras. Asimismo, contribuye a disminuir el uso de energéticos primarios para la generación de electricidad y reducir las emisiones contaminantes asociadas. Además, favorece la convivencia familiar y el desarrollo de actividades personales.

Desde que se implantó la medida en 1996, el IIE y la CFE han evaluado los beneficios energéticos y ambientales alcanzados por el programa. De manera acumulada, en el periodo de 1996-2004 se han obtenido ahorros del orden de 9,832 GWh de energía y 898 MW de disminución en demanda máxima coincidente, lo que resulta en cerca de nueve mil millones de pesos diferidos en inversión (Ver tabla 3.8). Se espera que en 2014 los ahorros de energía sean del orden de 1,558 GWh y 1,488 MW de demanda evitada.

**TABLA 3.8 APLICACIÓN DEL HORARIO DE VERANO.**

Año	Ahorro de energía (GWh)	Demanda evitada acumulada (MW)	Inversión diferida acumulada* (Millones de pesos)	Año	Ahorro de energía (GWh)	Demanda evitada acumulada (MW)	Inversión diferida acumulada* (Millones de pesos)
1996	943	529	4,100	2006	1,341	1,040	10,400
1997	1,100	550	4,400	2007	1,368	1,096	10,960
1998	1,012	683	6,830	2008	1,395	1,152	11,520
1999	1,092	613	6,130	2009	1,422	1,208	12,080
2000	1,182	823	8,230	2010	1,449	1,264	12,640
2001	933	908	9,080	2011	1,476	1,320	13,200
2002	1,118	900	9,000	2012	1,504	1,376	13,760
2003	1,165	935	10,285	2013	1,531	1,432	14,320
2004	1,287	898	9,975	2014	1,558	1,488	14,880
2005**	1,314	929	10,064				

\* Este rubro se refiere exclusivamente a las inversiones en infraestructura diferidas que se logran por la aplicación de esta medida.  
\*\* La información correspondiente al 2005 y posteriores se obtuvo de estimaciones basadas en evaluaciones de 1996 a 2004, considerando el crecimiento de la demanda que proyecta la CFE.

Fuente: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, elaborado con datos del PAESE-CFE, comunicado 2005.

### 3.10 PROGRAMAS EN INSTALACIONES

Estos programas del FIDE, se agrupan en dos conjuntos: el orientado a usuarios intensivos en el consumo de energía eléctrica y los de la pequeña empresa.



En apoyo a los grandes usuarios de instalaciones industriales, comerciales y de servicios municipales, durante 2004, se concluyeron 141 proyectos con aplicación de medidas ahorradoras, de los cuales 65 corresponden al sector industrial, 46 al de comercios y servicios y 30 a servicios municipales. A partir de 2005, se dio énfasis al desarrollo de proyectos corporativos, como también a servicios municipales.

En apoyo a la micro y pequeña empresa industrial, comercial y de servicios, durante 2004 se terminaron 216 proyectos con aplicación de medidas de ahorro de energía y se llevaron a cabo 570 diagnósticos. Con lo anterior, y de manera acumulada, se habían concluido 1,116 proyectos y realizado 5,085 diagnósticos.

### 3.11 PROGRAMA DE INCENTIVOS Y DESARROLLO DEL MERCADO.

Este programa, operado por el FIDE, inició en 1998 con el objetivo de impulsar la utilización de tecnologías ahorradoras y la transformación del mercado de equipos, financiamiento y servicios para el ahorro de energía eléctrica. Mediante el programa, se otorgan bonificaciones económicas a empresas industriales, comerciales y de servicios que adquieran e instalen equipos de alta eficiencia. En 2004, se comercializaron 82,605 equipos de alumbrado comercial, con lo que se concluyó este proyecto que logró incorporar un total de 5.4 millones de unidades de este tipo. Como referencia, con el proyecto de compresores ahorradores, concluido en 2001, se colocaron 1,109 equipos y con el de motores de alta eficiencia, terminado en 2003, al actualizarse la NOM de eficiencia energética para motores de corriente alterna trifásicos de inducción, se comercializaron 211,246 unidades.

Para los siguientes años, el FIDE seguirá apoyando la transformación del mercado de equipos estándar hacia los de alta eficiencia en los sectores productivos del país, al incentivar su uso mediante el otorgamiento de bonificaciones económicas. En particular, durante 2005, continuará con el Proyecto de Financiamiento a Proveedores, con el objetivo de fortalecer la oferta de servicios energéticos integrales, propiciando así, una mayor participación de instituciones financieras, fabricantes y distribuidores, firmas de ingeniería y de consultoría en la realización de proyectos de ahorro de energía eléctrica.

También, se continuará el Programa para la Introducción de Equipos Eléctricos de Alta Eficiencia en micro y pequeñas empresas y se iniciará el Programa de Incentivos para la sustitución de motores eléctricos convencionales por los de alta eficiencia, bajo proyectos que aprovechen los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), con la finalidad de obtener recursos a través de la venta de Bonos de Carbono. Con la instrumentación de estos proyectos, se estima que para 2014 se alcanzarán ahorros anuales en consumo de energía eléctrica del orden de 2,119 GWh y 864 MW en demanda evitada acumulada (Ver tabla 3.9).

TABLA 3.9 PROSPECTIVA DE LOS PROGRAMAS VIGENTES DE AHORRO DE ENERGÍA.						
Año	Aplicación de la NOM		Horario de verano		Programas en instalaciones	
	Energía GWh	Demanda evitada* MW	Energía GWh	Demanda evitada* MW	Energía GWh	Demanda evitada* MW
2005	14,251	2,567	1,314	984	1,136	292
2006	16,065	2,926	1,341	1,040	1,179	303
2007	17,850	3,299	1,368	1,096	1,225	312
2008	19,714	3,685	1,395	1,152	1,269	323
2009	21,658	4,093	1,422	1,208	1,312	333
2010	23,694	4,518	1,449	1,264	1,356	345
2011	25,826	4,948	1,476	1,320	1,407	358
2012	28,053	5,404	1,504	1,376	1,442	367
2013	30,511	5,906	1,531	1,432	1,487	380
2014	33,226	6,458	1,558	1,488	1,532	389

\* Suma de demanda evitada acumulada sin considerar la aplicación de factores de coincidencia.

Fuente: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.



**TABLA 3.9.A PROSPECTIVA DE LOS PROGRAMAS VIGENTES DE AHORRO DE ENERGÍA.  
(CONTINUACIÓN)**

Año	Incentivos FIDE		Sector doméstico	
	Energía GWh	Demanda evitada* MW	Energía GWh	Demanda evitada* MW
2005	1,367	559	427	285
2006	1,453	593	440	293
2007	1,539	627	453	300
2008	1,625	661	466	307
2009	1,712	694	479	315
2010	1,798	728	492	322
2011	1,884	762	505	330
2012	1,970	796	518	337
2013	2,004	830	531	344
2014	2,119	864	544	352

\* Suma de demanda evitada acumulada sin considerar la aplicación de factores de coincidencia.

Fuente: Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía.

### 3.11.1 SECTOR DOMÉSTICO

A través del Programa de Ahorro Sistemático Integral (ASI)-FIPATERM (Fideicomiso para el Aislamiento Térmico), FIDE y CONAEE, se instrumentan diversas acciones y programas regionales que se pueden agrupar en tres líneas de acción: el fomento de la cultura del cuidado de energía entre la población en general, la normalización de la eficiencia energética en aparatos electrodomésticos y los programas específicos de ahorro de energía.

De las acciones realizadas durante 2004, destaca la consolidación del Programa de Financiamiento para el Ahorro de Energía Eléctrica (PFAEE), establecido con base en un acuerdo entre la CFE, NAFIN y el FIDE, firmado en 2002, para promover el ahorro de energía eléctrica en el sector doméstico en la mayor parte del territorio nacional, excepto en la zona centro a cargo de LFC. Esto mediante la contratación de descuento de títulos de crédito por tres mil millones de pesos y una línea de crédito por 465 millones de pesos.

La operación del programa está a cargo de ASI-FIPATERM, que atiende los estados de la frontera norte y del sureste, y el FIDE en el resto del país. Las acciones se enfocan, principalmente, al aislamiento térmico de viviendas y el reemplazo de refrigeradores y equipos de aire acondicionado obsoletos por otros de alta eficiencia. A través del PFAEE y otros proyectos, de manera acumulada hasta 2004, se logró el aislamiento térmico de 10 mil 518 viviendas, la sustitución de 124 mil 972 equipos de aire acondicionado y 132 mil 243 refrigeradores, 15 millones 500 mil focos incandescentes sustituidos por lámparas eficientes y la realización de 201 mil 306 diagnósticos energéticos.

Las acciones para 2005 incluyen el aislamiento térmico de más de 99 mil casas, la sustitución de 71 mil aires acondicionados y 222 mil refrigeradores, el reemplazo de un millón de lámparas eficientes y la realización de más de 25 mil diagnósticos energéticos en los hogares (Ver tabla 3.10). Se estima que en 2014, por la aplicación de programas orientados al sector doméstico, se alcanzarán ahorros anuales en consumo de energía eléctrica del orden de 544 GWh y 352 MW en demanda evitada acumulada (Ver tabla 3.9).

Por otra parte, a través de FIDE, en coordinación con el Infonavit y desarrolladores de vivienda, se inició el Programa de Financiamiento para la Construcción de Viviendas con Criterios de Ahorro de Energía Eléctrica. A través de éste se otorgan financiamientos para que las nuevas casas habitación cuenten con medidas que aseguren el mejor aprovechamiento de la energía eléctrica, como son el aislamiento térmico de techos y muros, la instalación de luminarias con lámparas eficientes, equipos de aire acondicionado de alta eficiencia y ventanas de doble vidrio. Así, durante 2004, se concertó la construcción de 3,700 viviendas a través de cinco desarrolladores.



TABLA 3.10 ACCIONES EN EL SECTOR DOMÉSTICO					
Proyecto	Unidad	Antes de 2004	2004	Acumulado al 2004	Programa 2005
Aislamiento térmico	# Casas	88,544	10,518	99,062	22,100
Aires acondicionados	# Equipos	83,718	41,254	124,972	71,000
Refrigeradores	# Equipos	1,997	132,243	134,240	222,000
Lámparas eficientes	Millones lámparas	14	1	16	1
Diagnósticos energéticos	# Diagnósticos	177,415	23,891	201,306	25,000

Este proyecto inició durante el último trimestre de 2003.

Fuente: CONUEE, con base en información del PAESE-CFE, comunicado 2005.

### 3.12 OTRAS ACCIONES

Adicionalmente, se continuará realizando un amplio conjunto de acciones con el fin de promover y difundir los programas de ahorro de energía existentes, así como apoyar la formación de una cultura del cuidado de la energía entre la población en general.

TABLA 3.11 ACCIONES CON EL FIN DE PROMOVER Y DIFUNDIR LOS PROGRAMAS DE AHORRO DE ENERGÍA EXISTENTES.	
<b>Promoción y Difusión</b>	A través de medios impresos y electrónicos, la realización de eventos y exposiciones, la elaboración de materiales promocionales para difundir las oportunidades y beneficios del ahorro de energía eléctrica, así como promover la aceptación y aplicación de los programas y acciones entre la población en general.
<b>Formación de una cultura de ahorro de energía en la población infantil</b>	Mediante programas como el de Educación para el Uso Racional y Ahorro de Energía Eléctrica (EDUCAREE) del FIDE, Taller para el Aprendizaje del Ahorro de Energía SEP-CONUEE y el Programa Inspectores de Energía de la SENER, donde se involucra de manera activa a los niños, maestros y padres de familia.
<b>Capacitación y formación de recursos humanos especializados en ahorro</b>	Con la impartición de cursos, talleres y diplomados, entre otros; acciones que consolidan la formación de una cultura para el cuidado de la energía en el corto, mediano y largo plazos.
<b>Reconocimientos públicos a personas, instituciones y empresas a través de dos premios nacionales</b>	Premio Nacional de Ahorro de Energía Eléctrica, que anualmente otorga la CFE y el Premio Nacional de Ahorro de Energía en Inmuebles de la Administración Pública Federal que convoca la CONUEE.

Fuente: SENER. Elaboración propia.

### 3.13 CONFIABILIDAD

En el trabajo *"Distributed resources and electric system reliability"*, Richard Cowart considera tres puntos de vista a considerar en la confianza de la generación distribuida:

- El punto de vista de clientes individuales.
- De un grupo de clientes y su compañía local de distribución.
- El mercado como un todo y operadores del sistema.

Se destacan algunas formas por las cuales la generación distribuida puede ejercer una influencia efectiva en cuestiones relativas a la confianza. Aumentando la calidad de la energía y asegurando suministro sin interrupciones:

- La GD puede contribuir para la mejoría en la calidad de la energía en áreas congestionadas.
- En el final de la línea de tramos largos.
- En locales donde una alta calidad de energía es exigida.
- Puede también proveer capacidad de generación local bajo el control de clientes que demanda servicio ininterrumpido.



Los clientes que instalan la GD en el lado de su medidor, usualmente lo hacen por una combinación de tres razones:

- 1) Reducción de costos.
- 2) Aumento en la calidad de energía.
- 3) Mayor confianza.

Uno de los motivos de reducción de costos son los altos valores de energía para demanda y de horarios pico. La GD puede desempeñar también un papel importante en el caso de interrupciones debido a accidentes naturales, evitando largos periodos sin suministro de energía.

### 3.14 NECESIDAD DE MARCOS REGULATORIOS PARES

Cuando en los marcos regulatorios se crearon las estructuras tarifarias, se tenía en mente el convencional sistema de generación, en donde los clientes no son capaces de generar energía y toda la generación viene desde grandes centrales pasando a través de gigantes redes de transmisión. Sin embargo, esta concepción de la generación de la energía eléctrica fue cambiando debido a que la idea de la generación distribuida tomó fuerza en varios países, sobre todo por la idea de tener una energía más limpia. Los países más avanzados en este tema son los países europeos, los cuales se propusieron para el año 2005 tener al menos un 10% de energía eléctrica producida por generación distribuida.

En la mayoría de los marcos regulatorios actuales, no se reconocen los verdaderos aportes y ventajas de la generación distribuida, como es el caso uruguayo, argentino y chileno y la de otros países latinoamericanos, lo que hace parecer a la generación distribuida como un tipo de generación no competitiva. De hecho, un marco regulatorio que no reconozca las diferencias que existen entre la generación normal (típica) y la generación distribuida, y las trate en una sola unidad, no reconoce el valor agregado de la generación distribuida, especialmente lo que se refieren a que su punto de generación es muy próximo a su punto de demanda.

Más aún, no sólo no reconoce su valor agregado, sino que la penaliza obligando a la generación distribuida a competir sólo en base a costos marginales, los que necesariamente son mayores que para el caso de la generación normal, la cual aplica economías de escala. Este punto es esencial ya que se necesita un marco regulatorio que reconozca los costos y los beneficios reales del sistema para la sociedad de ambas alternativas y así asigne los recursos de forma eficiente.

### 3.15 ESTRATEGIAS DE FOMENTO Y PROMOCIÓN

#### 3.15.1 LAS POLÍTICAS PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MUNDO

##### 3.15.1.1 EL TRIPLE OBJETIVO DE LAS POLÍTICAS

Las políticas para la promoción de las energías renovables en el Mundo buscan un triple propósito:

1. Buscan reconocer y valorar los beneficios de las energías renovables. Muchos de estos beneficios no son actualmente valorados, y en ese sentido se pueden considerar *externalidades que deben ser internalizadas*.
2. Las políticas buscan adaptar los sistemas y mercados energéticos a las particularidades de las energías renovables. Los sistemas y mercados de energía actuales fueron diseñados para funcionar con energías no renovables. Se requieren instrumentos específicos de política pública para adaptarlos a las características de las energías renovables.
3. Las políticas tienen el objetivo de fomentar el flujo de información. La falta de información sobre los potenciales, sobre las características de las tecnologías, sobre sus costos y



beneficios a la sociedad, etc., aumenta los riesgos percibidos y, por lo tanto, los costos de las energías renovables. Un mayor acceso a la información permite reducir los riesgos y costos.

### 3.15.1.2 LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS POLÍTICAS

De los tres propósitos antes enumerados se desprenden las características que deben tener las políticas para el fomento de las energías renovables:

Las políticas deben permitir la participación de actores de pequeña escala en los mercados energéticos. Debido a la dispersión geográfica de las fuentes de energía, los proyectos de energías renovables son, en la mayoría de los casos, de escala menor que los proyectos de tecnologías convencionales. En virtud de lo anterior, así como de los altos costos de inversión requeridos, es necesaria la participación de actores privados (individuos y empresas) en el financiamiento, la ejecución y la operación de los proyectos de energías renovables. Asimismo, muchos de estos proyectos están ligados a otros procesos productivos y otros usos del territorio, por lo que las políticas deben permitir la participación de los actores involucrados.

Debido a los altos costos de inversión requeridos, es particularmente importante que las políticas ofrezcan una certidumbre de largo plazo y garanticen procedimientos administrativos sencillos y transparentes, para así reducir los riesgos (y por lo tanto los costos) del desarrollo de proyectos. La dimensión territorial de los proyectos de energías renovables implica por su parte la necesidad de que la certidumbre y la simplificación administrativa se de también en el plano de los instrumentos de política relacionados con el ordenamiento del territorio, a nivel federal, estatal y municipal.

Las políticas públicas deben establecer mecanismos que permitan valorar los distintos beneficios de las energías renovables. Para ello, la experiencia internacional muestra la necesidad de establecer mecanismos de incentivos financieros. Entre los distintos mecanismos utilizados en el Mundo, los más efectivos han sido los sistemas de precios predefinidos por kWh, gracias a que crean una certidumbre que permite reducir al mínimo los riesgos de los proyectos, sobre todo aquellos de pequeña escala.

Para el caso de los sistemas eléctricos, las políticas deben establecer procedimientos para ajustar la planeación y operación de dichos sistemas a nuevos patrones de generación más distribuida y a tecnologías variables de generación.

## 3.16 MARCO LEGAL, REGULATORIO Y NORMATIVO EN MÉXICO

### 3.16.1 CONSTITUCIÓN

El aprovechamiento de las energías renovables se sustenta en varios artículos constitucionales, entre los cuales hay que resaltar los siguientes:

- El artículo 4º, que establece el derecho a un medio ambiente adecuado.
- El artículo 25, que señala que corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional, para garantizar que este sea integral y sustentable y que fortalezca la Soberanía de la Nación.
- El artículo 27, que en su tercer párrafo otorga a la Nación el derecho de regular, en beneficio social, “el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación [incluyendo los energéticos no renovables], con objeto de hacer una distribución equitativa de la riqueza pública, cuidar de su conservación, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.”
- El artículo 28, que establece la necesidad de asegurar la eficacia de la prestación de los servicios y la utilización social de los bienes.



### 3.16.2 TRATADOS INTERNACIONALES

Nuestro país es signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Si bien no se encuentra dentro del grupo de países con compromisos específicos de mitigación, si debe “formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales y, según proceda, regionales, que contengan medidas orientadas a mitigar el cambio climático [...]”.

### 3.16.3 LA LEY PARA EL APROVECHAMIENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y EL FINANCIAMIENTO DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA (LAERFTE) Y SU REGLAMENTO

El 28 de noviembre del 2008 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética. La LAERFTE busca regular el aprovechamiento de las energías renovables para la generación de electricidad “con fines distintos a la prestación del servicio público”, y plantea esencialmente lo siguiente: La Secretaría de Energía (SENER) elaboro el Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables el cual fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 06 de agosto del 2009.

TABLA 3.12 PROGRAMA ESPECIAL PARA EL APROVECHAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES	
Artículo 12	Evaluará los beneficios económicos netos potenciales del aprovechamiento de las energías renovables
Artículo 13	Estos beneficios serán considerados en la evaluación económica de los proyectos de energías renovables que realicen las empresas públicas
Artículo 6°, fracción VI	La SENER elaborara un Inventario Nacional de las Energías Renovables
Artículo 10	La SENER, con la opinión de la SHCP, de la SEMARNAT y de la SSA, elaborara una metodología para valorar las externalidades asociadas con la generación de electricidad, basada en energías renovables
Artículo 7°, fracción I	La Comisión Reguladora de Energía (CRE) expedirá las normas, directivas, metodologías y demás disposiciones de carácter administrativo que regulen la generación de electricidad a partir de energías renovables
Artículo 7°, fracción II	La CRE definirá los pagos que harán las empresas públicas a los generadores privados, previa opinión de la SHCP y de la SENER
Artículo 7°, fracción V	La CRE expedirá las metodologías para determinar la aportación de capacidad de las tecnologías de energías renovables
Artículo 14	Los pagos de las empresas públicas a los generadores privados deberán incluir capacidad y energía, y podrán depender de la tecnología y de la ubicación geográfica de los proyectos

Fuente: SENER. Elaboración propia.

El Reglamento correspondiente, que se publicó en el Diario Oficial el día 02 de Septiembre del 2009, desarrolla la LAERFTE de la siguiente manera:

- La Secretaría considerara para la determinación de beneficios económicos de la generación renovable, además de las externalidades y del aporte de capacidad, los riesgos y costos de los distintos portafolios energéticos y los beneficios de los mercados de carbono.
- La Secretaría realizara una prospectiva de energías renovables, que servirá de guía para la elaboración del Programa y que se sumara a las otras prospectivas que ya realiza.
- La generación de electricidad se realizara por medio tanto de proyectos licitados como de proyectos fuera de convocatoria.

En ambos casos los proyectos deberán responder a las metas establecidas en el Programa, y los pagos serán definidos por la CRE.

### 3.16.4 LA LEY DE PROMOCIÓN Y DESARROLLO DE LOS BIOENERGÉTICOS

La Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1° de febrero del 2008, contempla, entre otros puntos, los siguientes:

- La creación de una Comisión Intersecretarial de Bioenergéticos, integrada por representantes de SENER, SAGARPA, SEMARNAT, SE y SHCP.
- La ejecución por parte de la SAGARPA de un Programa de producción sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico, con el fin de crear



condiciones propicias para la producción de Bioenergéticos en México (principalmente bioetanol y biodiesel).

- La ejecución por parte de la SENER de un Programa de Introducción de Bioenergéticos, para implementar en el sector energía los cambios necesarios para la mezcla de biocombustibles con combustibles de origen fósil.

### **3.16.5 LA LEY PARA EL APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA (LASE).**

La Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía transforma a la CONAE en CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) y establece la ejecución de un Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. La LASE está dirigida principalmente a la eficiencia energética pero incluye el aprovechamiento de las energías renovables para aplicaciones térmicas.

### **3.16.6 INSTRUMENTOS REGULATORIOS PARA EL SECTOR ELÉCTRICO.**

La Comisión Reguladora de Energía ha expedido tres resoluciones relacionadas con proyectos de aprovechamiento de energías renovables para la generación de electricidad.

#### **3.16.6.1 CONTRATO DE INTERCONEXIÓN PARA FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE DE TIPO INTERMITENTE (CIEI).**

Este contrato se aplica a proyectos de autoabastecimiento remotos que utilizan fuentes renovables intermitentes, es decir, eólica, solar e hidroeléctrica (esta última solo en los casos en los que no se puede controlar el flujo de agua). Los proyectos remotos son aquellos en los que el punto de generación está ubicado en un sitio distinto de los puntos de consumo, por lo que se recurre a la red de transmisión para realizar el porteo de energía entre los distintos sitios. El contrato establece en términos generales lo siguiente:

- El pago por los servicios de transmisión será en función de la capacidad y energía realmente transmitida, en vez de la potencia reservada.
- La red eléctrica fungirá el papel de banco de energía para compensar, dentro de los mismos y diferentes periodos horarios, los sobrantes y faltantes de energía. La energía que sobre de un periodo horario se podrá intercambiar a otro periodo horario de acuerdo con las tarifas eléctricas.
- Para efecto de calcular el cargo por demanda de los puntos consumidores, se reconoce como capacidad aportada al sistema el promedio mensual de la energía entregada durante las horas de mayor demanda en los días hábiles del mes.

Gracias a ese contrato favorable para los proyectos de autoabastecimiento, están actualmente en proceso de diseño o de construcción varios proyectos hidroeléctricos y eolieléctricos en el país.

#### **3.16.6.2 CONTRATO DE INTERCONEXION PARA FUENTE DE ENERGIA SOLAR EN PEQUEÑA ESCALA**

Este contrato permite a casas habitación y comercios pequeños conectados a la red eléctrica generar su propia energía eléctrica aprovechando la energía solar, bajo la modalidad de medición neta, o *net metering*. En caso de haber en algún momento excedentes de electricidad, el particular puede intercambiar energía con la empresa eléctrica, compensándola contra el consumo en otros momentos.

#### **3.16.6.3 MODELO DE CONTRATO DE COMPROMISO DE COMPRAVENTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA PEQUEÑO PRODUCTOR EN EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL**

Este contrato se aplica a cualquier proyecto de pequeña producción (proyectos que genera electricidad exclusivamente para su venta a la red eléctrica y con una capacidad menor de 30 MW), y ofrece a aquellos que utilizan energías renovables un beneficio en los pagos.



### 3.16.7 GESTIONES PARA LA REALIZACIÓN DE PROYECTOS

La realización de proyectos para el aprovechamiento de las energías renovables requiere de distintas gestiones ante las autoridades municipales, estatales y federales. Este proceso es más complejo para el caso de los proyectos de generación de electricidad. Con el fin de dar una orientación a los desarrolladores de proyectos, la entonces CONUEE, con la colaboración del IIE y el PNUD, elaboro una *Guía de gestiones para implementar en México plantas de generación eléctrica que utilicen energías renovables*.

### 3.17 INSTRUMENTOS DE POLÍTICA PÚBLICA

A continuación se describen los principales instrumentos de política para la promoción de las energías renovables en México.

#### 3.17.1 EL PLAN NACIONAL DE DESARROLLO Y EL PROGRAMA SECTORIAL DE ENERGÍA

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2007-2012 establece al Desarrollo Humano Sustentable como su principio rector. El PND retoma los postulados del Informe Mundial sobre Desarrollo Humano 1994 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de acuerdo con los cuales “el propósito del desarrollo consiste en crear una atmosfera en que todos puedan aumentar su capacidad y las oportunidades puedan ampliarse para las generaciones presentes y futuras”.

Se hace referencia a las energías renovables en dos de los ejes del PND, es decir, el eje 2 “economía competitiva y generadora de empleos”, y el eje 4 “sustentabilidad ambiental”. Esta duplicidad refleja el hecho de que las estrategias para el aprovechamiento de estas fuentes permiten lograr ambos objetivos.

<b>EJE 2</b>		<b>EJE 4</b>	
<b>ECONOMÍA COMPETITIVA Y GENERADORA DE EMPLEOS.</b>		<b>SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL.</b>	
Objetivo 15.	Asegurar un suministro confiable, de calidad y a precios competitivos de los insumos energéticos que demandan los consumidores.	Objetivo 10	Reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI).
Estrategia 15.11	Ampliar la cobertura del servicio eléctrico en comunidades remotas utilizando energías renovables en aquellos casos en que no sea técnica o económicamente factible la conexión a la red.	Estrategia 10.1	Impulsar la eficiencia y tecnologías limpias (incluyendo la energía renovable) para la generación de energía.
Estrategia 15.12	Diversificar las fuentes primarias de generación.		
Estrategia 15.14	Fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles, generando un marco jurídico que establezca las facultades del Estado para orientar sus vertientes y promoviendo inversiones que impulsen el potencial que tiene el país en la materia.		
Estrategia 15.16	Aprovechar las actividades de investigación del sector energético, fortaleciendo a los institutos de investigación del sector, orientando sus programas, entre otros, hacia el desarrollo de las fuentes renovables y eficiencia energética.		
Estrategia 15.17	Fortalecer las atribuciones de instituciones de regulación del sector.		

Fuente: SENER. Elaboración propia.

En congruencia con estos objetivos y estrategias plasmados en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, el Programa Sectorial de Energía 2007-2012 plantea, entre sus nueve objetivos, los siguientes tres:

Objetivo II.2. Equilibrar el portafolio de fuentes primarias de energía.



Objetivo III.2. Fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles técnica, económica, ambiental y socialmente viables.

Objetivo IV.1. Mitigar el incremento en las emisiones de Gases Efecto Invernadero.

### 3.17.2 INSTRUMENTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS

Dentro del conjunto de instrumentos de política existentes en México para la promoción de las energías renovables, existe uno de carácter financiero: la depreciación acelerada para inversiones en energías renovables, establecida en 2005, que permite depreciar el 100% de las inversiones “para maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables”. La depreciación solo se podrá efectuar cuando haya impuesto sobre la renta a cargo.

Es decir, si la depreciación es mayor que el impuesto, el contribuyente seguirá depreciando la inversión en los años siguientes. Con el fin de impedir que este mecanismo favorezca las inversiones en tecnologías de baja calidad, se establece que “lo dispuesto en esta fracción será aplicable siempre que la maquinaria y equipo se encuentren en operación o funcionamiento durante un periodo mínimo de 5 años inmediatos siguientes al ejercicio en el que se efectuó la deducción”.

### 3.17.3 INSTRUMENTOS DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

El Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética tiene como objetivo el “impulsar la investigación científica y tecnológica aplicada, así como la adopción, innovación, asimilación y desarrollo tecnológico en materia de fuentes renovables de energía, eficiencia energética, uso de tecnologías limpias, y diversificación de fuentes primarias de energía”. Los recursos para dicho Fondo provendrán de un derecho equivalente al 0.13% del valor del petróleo crudo y gas natural extraídos por PEMEX.

### 3.17.4 PROGRAMAS DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL

La cooperación internacional es uno de los elementos de la política del Gobierno Federal en materia de promoción de las energías renovables. En este ámbito cabe mencionar:

- La ratificación por parte de México de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y de su Protocolo de Kioto.
- La participación de México en conferencias internacionales sobre energías renovables: Berlín 2004, Pekín 2006 y Washington 2008.
- La cooperación con instituciones financieras multilaterales: El Banco Mundial y el Banco Interamericano de Desarrollo.
- La cooperación con agencias bilaterales; en particular, la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (agencia de cooperación técnica alemana), y la embajada británica.
- El Programa Energía Sustentable en México de la Cooperación Técnica Alemana: Desde el 2005 la GTZ (cooperación técnica alemana) está implementando actividades de cooperación técnica en el sector energía en México. Actualmente, se ejecuta el Programa Energía Sustentable en México por encargo del Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ). El Programa tiene como objetivo contribuir a mejorar las condiciones marco para aumentar la eficiencia energética y el uso de fuentes renovables de energía en México. Para lograr este objetivo hay una cooperación estrecha entre la GTZ y actores tanto del sector público (principalmente la SENER, CRE, CONUEE, y CFE); como del sector privado.

El Programa se enfoca, principalmente, en tres líneas de acción:

- Asesoría para mejorar el marco regulatorio y normativo



- Asesoría en el desarrollo e implementación de programas de promoción y difusión
- Capacitación y desarrollo organizacional en los sectores público y privado

### 3.17.5 RESUMEN DE POLÍTICAS, PROGRAMAS Y PROYECTOS

El siguiente cuadro resume las distintas políticas, programas y proyectos relacionados con las energías renovables y ejecutados por el Gobierno Federal.

TABLA 3.14 POLÍTICAS, PROGRAMAS Y PROYECTOS RELACIONADOS CON ENERGÍAS RENOVABLES		
POLÍTICA/ PROGRAMA/ PROYECTO	INSTITUCIONES	TECNOLOGÍAS
Programa Sectorial de Energía	SENER	Todas
Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables	SENER	Todas
Proyecto de Energías Renovables a Gran Escala	SENER, GEF, BM	Eólica
Proyecto de Servicios Integrales de Energía para Pequeñas Comunidades Rurales en el Sureste de México	SENER, GEF, BM	Solar, hidráulica, eólica, bioenergía
Proyecto térmico solar Agua Prieta II	SENER, GEF, BM	Concentración solar
Programa Energía Sustentable en México	SENER, CONUEE, CRE, CFE, GTZ	Todas
Programa para la Promoción de Calentadores Solares de Agua en México	CONUEE, GTZ, ANES	Calentamiento solar de agua
Anteproyecto de Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico	SAGARPA	Biocombustibles
Ante proyecto de Programa de Introducción de Bioenergéticos	SENER	Biocombustibles
Programa de sustitución de fogones abiertos por fogones ecológicos	SEDESOL	Estufas de leña
Proyecto de Desarrollo Rural Sustentable para el Fomento de las Fuentes Alternas de Energía en los Agronegocios, que Promuevan la Eficiencia Energética en el Sector Agropecuario	FIRCO	Solar fotovoltaica, calentamiento solar, eólica, biodigestores
Depreciación acelerada	SHCP	Todas
Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía	SENER	Todas
Metodología para Valorar Externalidades Asociadas con la Generación de Electricidad en México	SENER	Todas
Políticas y Medidas para Fomentar la Integración Nacional de Equipos y Componentes para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Uso Sustentable de la Energía	SENER	Todas
Políticas y Medidas para Facilitar el Flujo de Recursos Derivados de los Mecanismos Internacionales de Financiamiento	SENER	Todas

Fuente: SENER.

### 3.18 ESCENARIOS Y CONSIDERACIONES FUTURAS

Las políticas públicas y el acelerado cambio tecnológico han aumentado los potenciales económicamente viables de eficiencia energética y de aprovechamiento de la energía renovable en el país, debido a que los equipos y sistemas consumidores de energía que existen actualmente en el mercado son energéticamente más eficientes.

En este sentido, el principal reto es el de continuar y consolidar los proyectos, programas y acciones de ahorro de energía y energía renovable que actualmente se encuentran en desarrollo, así como formular nuevas estrategias y líneas de acción a través de la instrumentación de un Programa Nacional de Ahorro de Energía que, de manera consensuada y participativa de los sectores público, privado y social, atienda las necesidades de los usuarios de energía en todo el país, y permita seguir consolidando los esfuerzos nacionales en la materia.

Se han realizado diversos estudios para proponer escenarios posibles, de largo plazo, para el desarrollo de las energías renovables en México. Entre ellos cabe mencionar los siguientes:



- El estudio “Prospectiva sobre la utilización de las energías renovables en México.
- El documento “México: Estudio para la Disminución de Emisiones de Carbono”, elaborado por el Banco Mundial, en coordinación con el Gobierno Federal. El objetivo de este estudio es evaluar el potencial para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en México en el transcurso de las próximas décadas. Se evaluaron intervenciones en distintos sectores, incluyendo el aprovechamiento de las energías renovables, utilizando una metodología común y, con base en estas intervenciones, se desarrolló un escenario de bajo carbono al año 2030.
- El estudio “Low-Carbon Growth. A Potential Path for Mexico” realizado por la empresa de consultoría McKinsey, en colaboración con el Centro Mario Molina para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente, A.C.
- El documento “Revolución energética: Una perspectiva de energía sustentable para México”, realizado por Greenpeace, y que propone un escenario en el cual las emisiones nacionales de CO2 se estabilizan para el año 2030, para posteriormente reducirlas en 60% para el año 2050, a través del uso de energías renovables y eficiencia energética.



## CAPÍTULO 4

## TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA



## 4.1 ANÁLISIS DE SISTEMAS PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.

Este capítulo pretende dar una visión general de los aspectos tecnológicos que caracterizan hoy en día el desarrollo de cada una de las tecnologías de GD, así como otros aspectos importantes relacionados, como son los sistemas de almacenamiento e interconexión.

TABLA 4.1 SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA.		
Tecnologías de GD	Maduras	Motor alternativo
		Turbina de gas
		Mini hidráulica
		Eólica
		Solar térmica
		Fotovoltaica
		Residuos
	Semi-maduras	Biomasa
		Microturbina
		Pila de combustible
	Emergentes	Marina
		Geotérmica
Sistemas de almacenamiento	Maduras	Bombeo
		Batería
	Semi-maduras	Térmico
		Volante
		Aire a presión
	Emergentes	Hidrógeno
		SMES
		Ultracapacidades
Sistemas de interconexión		
Fuente: FENERCOM		

## 4.2 TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN.

Se presenta a continuación una descripción de las tecnologías de generación que existen en la actualidad, ordenadas teniendo en cuenta su madurez y grado de penetración en el mercado, de mayor a menor. También es importante resaltar que, si bien algunas de las tecnologías se utilizan principalmente para la generación a gran escala, se dan casos en que su aprovechamiento a pequeña escala puede ser una solución viable.

En función de la energía primaria que utilicen, estas tecnologías se pueden clasificar en dos grandes categorías: GD no renovable y GD renovable.

El primer grupo comprende aquellas tecnologías que utilizan como energía primaria combustibles fósiles: motores alternativos, turbinas de gas, pilas de combustible y microturbinas.

Tabla 4.2, muestra un resumen de las características más importantes de las tecnologías de generación consideradas maduras y semi-maduras.



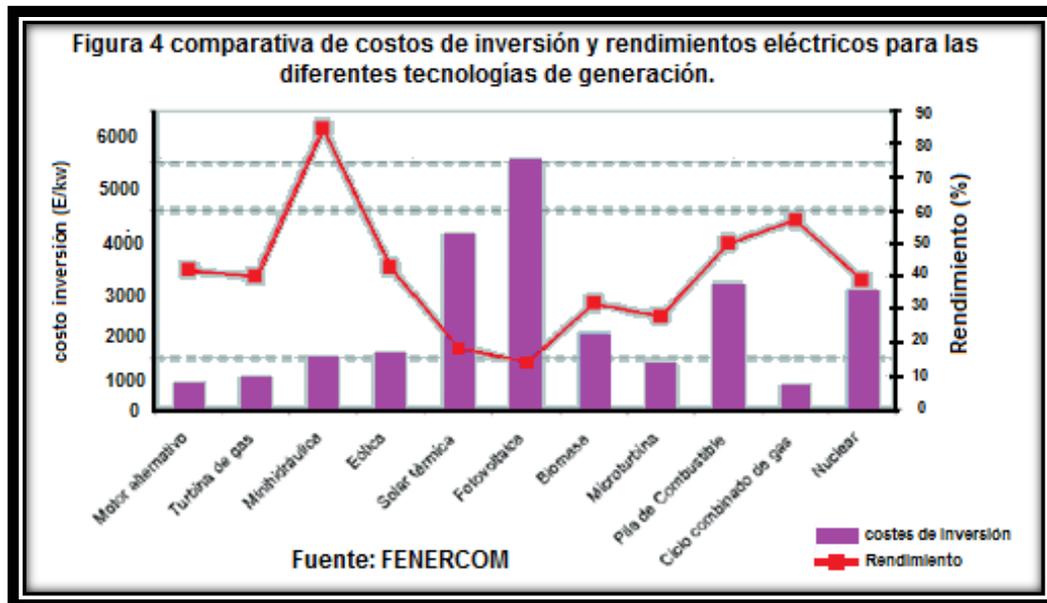
TABLA 4.2 TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN.

TECNOLOGÍAS	ENERGÍA PRIMARIA	POTENCIA (MW)	RENDIMIENTO ELÉCTRICO <sup>1</sup> (%)	COSTO INVERSIÓN <sup>2</sup> (€/KW)	DISPONIBILIDAD COMERCIAL
Motor alternativo	Gas natural, diesel, biogás, propano	0,08-20	28-42% (gas natural) 30-50% (diesel) 80-85% (cogeneración)	500-900	Actual
Turbina de gas	Gas natural, biogás, propano	0,25-500	25-60% 70-90% (cogeneración)	600-1400 (CHP)	Actual
<i>Mini hidráulica</i>	Agua	0,01-10	80-90%	1000-1800	Actual
<i>Eólica</i>	Viento	0,005-5	43%	1100-1700	Actual
<i>Solar térmica</i> <sup>3</sup>	Sol	0,0002-200	13-21%	3500-8000	Actual
<i>Fotovoltaica</i>	Sol	<0,001-0,1	14%	5000-7000	Actual
<i>Biomasa</i>	Biomasa		32%	1500-2500	Actual
Microturbina	Gas natural, hidrogeno, propano, diesel, biogás	0,025-0,4	25-30% Hasta 85% (cogeneración)	900-2000	Actual (limitada)
Pila de combustible	Gas natural, metano, propano, hidrogeno	1kW-11MW	35-65% Hasta 85% (cogeneración)	2500-3700	Algunas ya disponibles (PAFC, MCFC, PEMFC, SOFC)

1 Se considera como rendimiento eléctrico la relación entre energía eléctrica que se genera y la energía primaria aportada. Esta magnitud tiene más relevancia a la hora de comparar tecnologías de generación en las que la energía primaria aportada no sea renovable. Es por ello, que las tecnologías renovables se han marcado con letra cursiva.  
 2 Datos de 2004 (conversión 1€ = 1,3666 \$) y 2005.  
 3 Dentro de la tecnología solar térmica se han considerado todos los tipos de sistemas existentes en la actualidad, incluyendo los más experimentales. Esto da lugar a amplios rangos potencias, rendimientos y costos de inversión (de hasta 8.000€/kW).

Fuente: FENERCOM

La Figura 4 compara los costos mínimos de inversión y los rendimientos eléctricos medios de las tecnologías de GD más desarrollados de los ciclos combinados de gas y las centrales nucleares, que no entran en la categoría de GD, pero permiten comparar la GD con la generación centralizada.



Asimismo, algunas de estas tecnologías se utilizan para la obtención simultánea de electricidad y calor –en forma de agua caliente, vapor, aire caliente- (cogeneración) o calor, frío y electricidad (trigeneración). Las tecnologías más utilizadas para cogeneración son los motores alternativos, turbinas de gas, las microturbinas y las pilas de combustible. También se utilizan turbinas de vapor, aunque en menor medida.

4.2.1 MOTOR ALTERNATIVO.

Los motores alternativos de combustión interna son motores térmicos en los que los gases resultantes de un proceso de combustión empujan un émbolo o pistón que se desplaza en el interior



de un cilindro haciendo girar un cigüeñal y obteniendo un movimiento de rotación. Se emplean principalmente en plantas de cogeneración en sectores tan diversos como el agroalimentario, construcción, pasta y papel o textil.



Poseen una mayor flexibilidad ante variaciones de carga que las turbinas de gas y son capaces, en función de su diseño, de utilizar diversos combustibles como energía primaria. El más empleado es el gas natural.

Estos motores se pueden clasificar en función de diferentes aspectos. En función del encendido, se distinguen el Motor Otto, o de encendido provocado, en el que la combustión se inicia mediante una chispa y el Motor Diesel, o de encendido por compresión, de rendimiento superior por aprovechar mejor el combustible.

En función del ciclo, los motores pueden funcionar en cuatro (cuatro carreras del émbolo y dos vueltas del cigüeñal) o dos (dos carreras del émbolo y una vuelta del cigüeñal) tiempos.

En cuanto a la refrigeración, el fluido refrigerante podrá ser un líquido, normalmente agua, evacuando el calor en un radiador; o el aire, utilizando un ventilador, que será de aplicación sobre todo en motores de pequeña potencia.

El 75% de las plantas de cogeneración existentes en España (según datos de 2004) utilizan motores alternativos, de los cuales, la gran mayoría (70%), son de gas natural y el 28% diesel. En muy pocas ocasiones se utilizan combinaciones: motor diesel-motor de gas natural, motor de gas-turbina de vapor, motor diesel-turbina de vapor.

Existen, pues, numerosos ejemplos de instalaciones de este tipo. En la Universidad de Santiago de Compostela, se ha puesto en funcionamiento un "anillo de cogeneración" de 3,1 MW formado por 10 módulos de cogeneración por gas natural (equipos motor-alternador) que abastecen de energía térmica y eléctrica a tres Facultades y otras dependencias de la universidad. Emplea para ello motores de gas Guascor de 310 kW y un sistema de recuperación de calor.



Por otro lado, el Hospital Central de Defensa de Madrid dispone de una instalación de cogeneración con motor de gas, de 6MW de potencia, que suministra energía eléctrica y térmica a las instalaciones del hospital, que cuenta con más de 2000 camas hospitalarias.

La planta permite disminuir los costos energéticos del hospital y aumentar la fiabilidad y garantía del suministro, al tiempo que éste se beneficia de las ventajas medioambientales que aporta el uso del gas natural como combustible. Incluye también un grupo frigorífico de absorción de 2200kW de potencia que complementa las necesidades de frío del hospital con un costo eléctrico prácticamente nulo.

#### 4.2.2 TURBINA DE GAS

La turbina de gas es una máquina térmica que desarrolla trabajo al expandir un gas. El aire comprimido se mezcla con combustible y se quema bajo condiciones de presión constante.

Básicamente, se compone de un compresor, la cámara de combustión y la turbina de gas proporcionalmente dicha. Se pueden utilizar en varias configuraciones: ciclo simple (que es una turbina produciendo sólo electricidad), cogeneración (en la que se añade a la turbina de ciclo simple un recuperador de calor que permite obtener vapor o agua caliente del calor de los gases de escape) y ciclo combinado turbina de gas-turbina de vapor (añadiendo una turbina de vapor que aprovecha el calor recuperado para obtener más energía eléctrica).

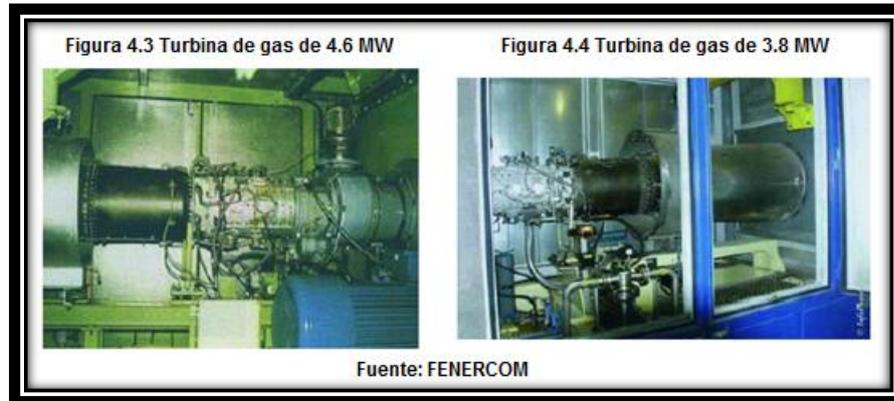
El tamaño de las turbinas varía entre 0.25-500 MW, con algunas aplicaciones comerciales entre 1 y 2 MW, y su eficiencia ronda el 40%, en ciclo simple; entre 40-60%, en ciclo combinado; y entre el 70-90, en cogeneración.

La configuración de ciclo simple es la más común en instalaciones de menos de 40 MW. Por otro lado, la cogeneración es una aplicación muy apropiada para consumidores con demandas eléctricas por encima de los 5 MW y se utiliza frecuentemente en sistemas de "district heating" o "calefacción colectiva" que son redes de distribución de calor.

En 2004, más del 17% de las plantas de cogeneración en España eran de turbina de gas. Se pueden encontrar ejemplos de utilización de turbina de gas a pequeña escala en Galicia y el País Vasco. En la fábrica de Leche Pascual de Otero de Rey (Lugo) se encuentra en funcionamiento una planta de cogeneración con turbina de gas y caldera de recuperación de gases de 4.6 MW y en la fábrica Papelera del Oria en Zizurkil (Guipúzcoa) disponen de una planta de cogeneración en ciclo combinado de contrapresión de 9.25 MW. Esta última está compuesta por dos turbinas de gas, dos



generadores de vapor con post-combustión y una turbina de vapor, abasteciendo con gran eficiencia tanto la demanda térmica como la demanda eléctrica de la fábrica.



#### 4.2.3 MINI-HIDRÁULICA.

El fundamento básico de este tipo de generación consiste en el aprovechamiento de la energía potencial del agua, almacenada en un embalse o procedente de un río, para producir energía eléctrica. La energía potencial del agua se transforma en energía cinética en su camino descendente por las tuberías forzadas. A continuación, se transforma la energía cinética en energía de presión, energía mecánica y, finalmente, en energía eléctrica.

Dentro de este tipo de generación, únicamente se consideran como GD las llamadas centrales mini-hidráulicas, es decir, aquellas cuya potencia máxima instalada no supera los 10 MW, definiéndose la potencia de la instalación como el producto del caudal por el salto. Los caudales pueden variar desde 0.4 hasta 200 m<sup>3</sup>/s y los saltos desde 3 hasta 250 m, empleándose, en cada caso, la turbina más apropiada. Asimismo, entre la toma de agua y el punto en el que se restituye de nuevo al cauce no suele haber más de un kilómetro.

Las centrales mini-hidráulicas para generación eléctrica pueden ser de dos tipos:

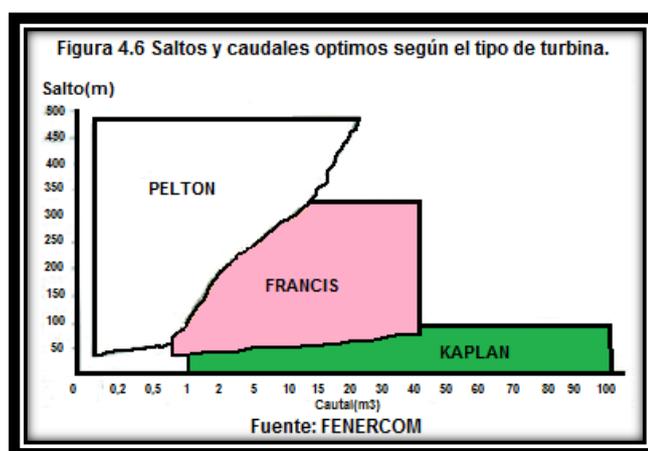
- a) **Central de agua fluyente o en derivación:** son aquellas en las que parte del agua del río se desvía de su cauce por medio de un azud y de uno o varios canales, siendo devuelta al río aguas abajo. En este tipo de centrales, el caudal del agua varía durante el año, en función del régimen hidrológico del curso de agua.
- b) **Central de embalse o de regulación:** en este caso, se construye una presa en el cauce del río formándose un embalse en el que se almacena agua. Puede estar situada a pie de presa o más alejada para mejorar el salto (mixta).





Los elementos básicos de una central mini-hidráulica no difieren de los empleados en una central hidráulica de gran potencia. El elemento diferenciador de una central hidráulica lo constituye la turbina, que puede ser de acción (Pelton), en las que la energía de presión del agua se transforma íntegramente en energía cinética en la parte fija (inyector), o de reacción (Francis, Kaplan), en las que la transformación en energía cinética se produce tanto en la parte fija (caracol, distribuidor) como en la móvil (rodete).

La figura 4.6 muestra el rango de saltos y caudales para el óptimo aprovechamiento energético de cada tipo de turbina. La turbina Pelton se emplea generalmente en centrales con grandes saltos; la Francis, en centrales con saltos comprendidos entre 30 y 350 metros; y la Kaplan, con saltos pequeños (por debajo de 70 metros) y grandes caudales.



#### 4.2.3.1 COSTOS

Las centrales hidroeléctricas tienen costos relativamente bajos y compiten favorablemente con las tecnologías de energías no renovables. Aunque los costos de inversión varían mucho de un sitio a otro, un valor promedio es US\$2,100/kW, mientras que el costo de la electricidad generada es típicamente de entre 3 y 4 US ¢ /kWh.

#### 4.2.3.2 ESTADO ACTUAL

Existe en el Mundo una capacidad hidroeléctrica instalada de 860 GW. En México la capacidad hidroeléctrica instalada es de 11.4 GW, de los cuales aproximadamente 300 MW corresponden a pequeñas centrales de las empresas públicas, y 90 MW a centrales privadas de autoabastecimiento. La generación es de 27,300 GWh/año. La Prospectiva del Sector Eléctrico contempla la construcción de nuevas centrales hidroeléctricas con una capacidad de 1,224 MW en el transcurso de los próximos 10 años.

#### 4.2.3.3 POTENCIAL

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha identificado el potencial hidroeléctrico del país en aquellos sitios con una potencia media mayor de 5 MW. Excluyendo las centrales en operación y en planeación, el potencial identificado es de 39 GW. Este potencial es meramente indicativo, pues falta definir la factibilidad técnica, económica, ambiental y social para muchos de estos proyectos. Se puede suponer sin embargo que por lo menos el 25% de este potencial sea factible.

Existe además un potencial importante en centrales de menor tamaño, pero, con la excepción de un estudio realizado en una región de los estados de Puebla y Veracruz, este potencial no se ha evaluado. De manera muy preliminar se ha estimado que el potencial nacional para pequeñas hidroeléctricas es de alrededor de 3 GW. Al igual que para el caso de la energía eólica, en la medida



en que se reconozcan los distintos beneficios de las pequeñas centrales hidroeléctricas, incluyendo su impacto en la mitigación del cambio climático, este potencial será económica y financieramente factible.

Existe también un potencial no identificado para la construcción de micro-centrales hidroeléctricas para abastecer de electricidad a comunidades aisladas de la red eléctrica, así como para satisfacer otros servicios energéticos como el bombeo de agua por bombas de ariete.



#### 4.2.4 EÓLICA.

Las turbinas eólicas transforman la energía cinética del viento en energía mecánica, ya sea para mover directamente una máquina tal como una bomba de agua, o bien para impulsar un generador eléctrico. Existen turbinas de muchos tamaños, desde unos 500 W, hasta más de 7 MW. Las de mayor tamaño están destinadas principalmente a granjas eólicas marinas. En el transcurso de las últimas dos décadas la tecnología de las turbinas eólicas ha avanzado radicalmente y sus costos se han reducido hasta hacerse competitivos con las tecnologías convencionales en contextos geográficos favorables.

En las instalaciones de aprovechamiento de la energía eólica, la fuente primaria de energía es el viento, aire en movimiento originado por la diferencia de presión provocada por el calentamiento desigual de la superficie terrestre por efecto del Sol.

Al incidir sobre las palas del aerogenerador (elementos móviles), la energía cinética del viento se transforma en energía de presión, transmitiendo un giro al eje. Finalmente, un generador transforma esta energía mecánica en energía eléctrica.



Hoy en día, la gran mayoría de las aplicaciones de la energía eólica son consideradas generación centralizada (por tratarse de grandes parques eólicos) o generación remota (por estar lejos del punto de consumo).

Como GD puede considerarse, únicamente, las pequeñas instalaciones de aerogeneradores instaladas cerca del consumo que pueden servir para llevar suministro eléctrico a lugares aislados, alejados de la red eléctrica, y utilizadas comúnmente para el bombeo de agua, etc.



Aparte de las aplicaciones para lugares remotos, una aplicación emergente es la integración de eólica a pequeña escala en edificios.

#### 4.2.4.1 COSTOS

El costo de las turbinas eólicas es de aproximadamente US\$1,700 por kW. El costo de la electricidad generada depende de la velocidad del viento y de su distribución a lo largo del año. En condiciones óptimas, con costos de alrededor de 5 centavos de dólar por kWh, esta tecnología resulta competitiva con muchas de las tecnologías convencionales de generación de electricidad.

#### 4.2.4.2 ESTADO ACTUAL

La energía eólica se ha desarrollado a pasos acelerados en el Mundo durante los últimos años. En el año 2008, la capacidad instalada mundial llegó a los 120,800 MW. En México existen en la actualidad 170 MW de capacidad eólica en operación, que se dividen en:

- 85 MW en los proyectos La Venta I y La Venta II operados por la CFE en el Istmo de Tehuantepec.
- 80 MW en el proyecto de autoabastecimiento Parques Ecológicos de México, que entro gradualmente en operación desde enero del 2009.
- 0.6 MW en una turbina de la CFE en Guerrero Negro, Baja California Sur.
- 2 MW en pequeños aerogeneradores en sitios aislados de la red.
- 3 MW en pequeñas aerobombas (turbinas eólicas que impulsan bombas hidráulicas).



Otro ejemplo de integración arquitectónica son los aerogeneradores instalados en el techo de un supermercado de la cadena Tesco, en Estados Unidos, que, junto a otras medidas de eficiencia energética, les reportan ahorros de hasta un 20 % en la factura eléctrica.



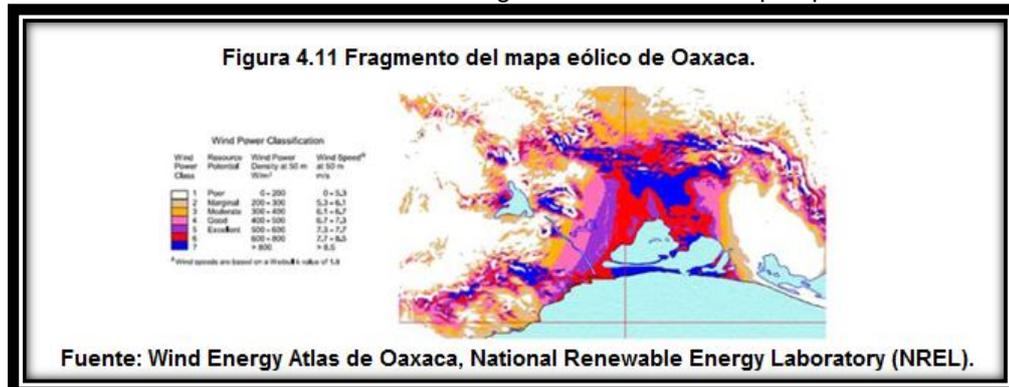
Se trata, pues, de una energía limpia que está empezando a ser competitiva por la sencillez de los principios que se aplican. Sin embargo, se trata de una tecnología en desarrollo que presenta ciertos inconvenientes relacionados con el alto costo de inversión inicial, la intermitencia de los vientos, su impacto ambiental y visual, los ruidos y vibraciones, etc.



#### 4.2.4.3 POTENCIAL



El potencial eólico del país no ha sido evaluado de manera exhaustiva. Se han realizado, sin embargo, evaluaciones del recurso en regiones específicas. En particular el Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos ha coordinado la realización de mapas eólicos para Oaxaca (figura 4.11), Baja California Sur, las costas de Yucatán y de Quintana Roo y las franjas fronterizas de los estados de Baja California, Sonora y Chihuahua. Estos mapas se han realizado conjuntando información de estaciones meteorológicas con técnicas de prospección remota.



#### 4.2.5 SOLAR TÉRMICA.

La energía solar térmica se basa en la conversión de la energía procedente de la radiación solar en calor transferido a un fluido (normalmente agua). En el caso de pequeñas instalaciones, no se produce electricidad de forma directa, aprovechándose la energía en su forma térmica.

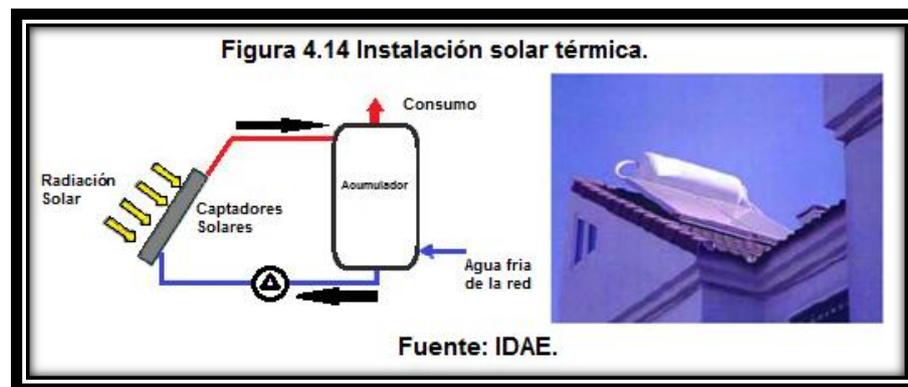


En función de la temperatura máxima que alcanza el fluido, se distinguen tres tipos de sistemas: de baja (captadores planos y captadores con tubo de vacío), media (espejo cilindro-parabólico) y alta temperatura (discos parabólicos y centrales de torre). Sólo se puede considerar GD los sistemas de baja temperatura y los discos parabólicos, pues las potencias de generación, en los otros casos, son superiores a los 10 MW y no están situados cerca de los puntos de consumo. Para aplicaciones individuales o pequeños sistemas eléctricos aislados, los sistemas de disco parabólico son una opción viable, con eficiencias teóricas muy altas. Sin embargo, se encuentran actualmente en fase de experimentación, siendo los sistemas que más alejados están de la comercialización.

Los sistemas de baja temperatura (por debajo de 100 °C) se utilizan tales como calefacción, climatización de piscinas, agua caliente sanitaria (ACS), etc. Los receptores más habituales son los captadores planos vidriados y los captadores con tubo de vacío. Cabe señalar que, si bien con estos últimos se pueden alcanzar temperaturas más elevadas, los captadores planos son los más utilizados debido, principalmente, a que se consiguen aumentos de temperatura importantes (del orden de 60°C) a un costo reducido.



Los sistemas de captador plano disponen, básicamente, de una placa absorbente, por ejemplo, cromo negro, un aislamiento térmico, un fluido portador de calor, un sistema de conducción del fluido y un tanque de almacenamiento térmico convenientemente aislado.



Hoy en día, se tiende a utilizar la energía solar térmica, no sólo para la producción de ACS y para calefacción (de aplicación en edificios de viviendas, comerciales e industriales), sino también para la producción de frío. Con ello se busca una alternativa a los sistemas de refrigeración de alto consumo energético y aprovechar el mercado existente, ya consolidado, de energía solar térmica.

#### 4.2.5.1 COSTOS

Un calentador solar de agua estándar con un tanque de 150 litros con una eficiencia del 50% cuesta actualmente alrededor de US\$1,050. Los costos por unidad de energía dependen del tamaño del sistema y varían entre 1 y 20 US ¢ /kWh.

#### 4.2.5.2 ESTADO ACTUAL

A finales del 2007 había en el Mundo una superficie instalada de aproximadamente 208 millones de metros cuadrados de calentadores solares de agua, de los cuales correspondían a México un millón de m<sup>2</sup>. Con una generación anual de calor per cápita de 41 MJ, nuestro país se encuentra rezagado en esta materia en comparación de países como Brasil (con 380 MJ), China (con 1,600 MJ) o Israel (con 17,000 MJ) per cápita por año.

#### 4.2.5.3 POTENCIAL

Al igual que para el caso del aprovechamiento de la radiación solar para la generación de electricidad, el potencial técnico para el aprovechamiento térmico de la radiación es prácticamente ilimitado. Por ello, el potencial para el desarrollo de esta tecnología depende más bien de la demanda



para el calentamiento de fluidos a baja temperatura en los sectores residencial, comercial, de servicios, industrial y agrícola, que se ha estimado en 230 PJ/año, en combustible. Suponiendo que la mitad de esta demanda podría ser satisfecha por calentadores solares de agua, el potencial para el desarrollo de esta tecnología sería de 35 millones de m<sup>2</sup> de colectores solares, que proveerían 115 PJ/año, equivalentes al 2.5% del consumo final energético de México. Todo este potencial es económicamente viable.

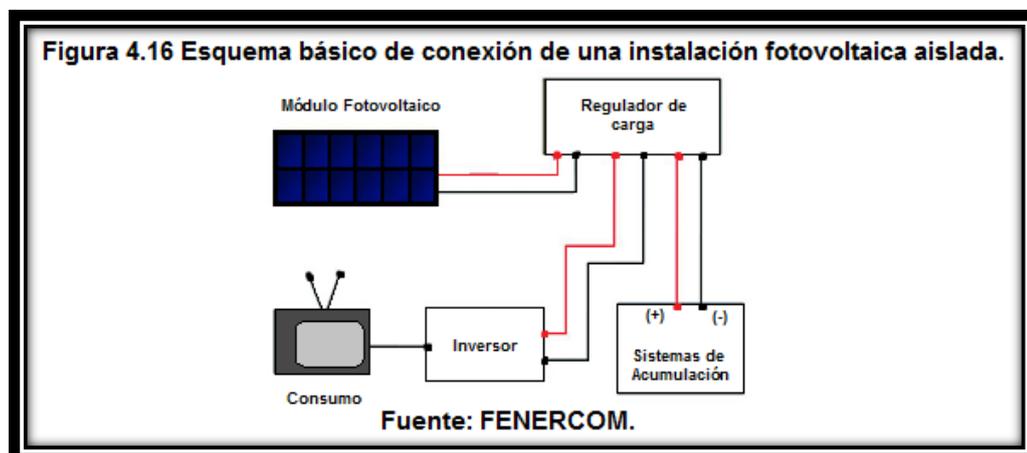
**4.2.6 SOLAR FOTOVOLTAICA.**

La energía fotovoltaica aprovecha la radiación solar para producir energía eléctrica. Se basa en la absorción de la radiación solar por parte de un material semiconductor, que constituye las denominadas células fotovoltaicas, provocando un desplazamiento de cargas en su interior y originando la generación de una corriente continua.



Originalmente orientada al suministro eléctrico en zonas difícil acceso para la red de distribución y con pequeños consumos, está evolucionando hacia:

**Instalaciones de generación de gran extensión (Huertas solares):** Existen grandes instalaciones fotovoltaicas que podrían considerarse generación centralizada; sin embargo, la mayoría tiene potencias bajas y pueden encontrarse conectadas a la red de baja tensión o aisladas de la red (conectadas directamente a las cargas) por lo que pueden considerarse incluidas en el concepto de la GD. Las huertas solares (término registrado por ACCIONA Solar) son recintos que reúnen pequeñas instalaciones fotovoltaicas de propiedad individual, que optimizan su gestión y rendimiento energético compartiendo infraestructura y servicios comunes.





Básicamente, una instalación fotovoltaica se compone de:

- a) **Sistema de generación:** consiste en paneles o módulos compuestos por células fotovoltaicas de material semiconductor conectadas entre sí, encapsuladas para formar un conjunto estanco y resistente llamado celda fotovoltaica.

Aunque, por razones de eficiencia, las células fotovoltaicas más utilizadas están fabricadas en silicio monocristalino (rendimiento 15-17%), existen otros tipos de semiconductores: silicio policristalino (rendimiento 12-14%), silicio amorfo (rendimiento menor del 10%), telurio de cadmio (CdTe), diseleniuro de indio-cobre (CuInSe<sub>2</sub> o CIS) y arseniuro de galio (GaAs), algunos de ellos en periodo de experimentación.

El rendimiento de estas células viene a ser entre un 12% y un 25% y es menor cuanto más alta es la temperatura.

- b) **Sistema de regulación de carga:** asociado al sistema de acumulación de energía, controla la carga y descarga de las baterías y las protege frente a la sobrecarga y la sobredescarga.
- c) **Sistema de acumulación:** se trata de un elemento opcional para sistemas conectados a la red. El sistema que mejor se adapta a este tipo de generación es la batería de plomo-ácido. Ésta se encarga de proporcionar energía en horas de baja o nula insolación, almacenar la energía que excede la demanda y satisfacer picos instantáneos de demanda.
- d) **Sistema de interconexión (inversor, protecciones y contador).**

Actualmente se están desarrollando sistemas de generación híbrida fotovoltaica-eólica, fotovoltaica-diesel, o fotovoltaica-eólica-diesel. La combinación de diversas fuentes de energía renovable y/o energía eficiente basada en el gas natural, apoyadas habitualmente en sistemas de almacenamiento de energía, hace posible un aprovechamiento energético óptimo de los recursos disponibles.



#### 4.2.6.1 COSTOS

Entre las distintas tecnologías para la generación de electricidad a partir de la radiación solar, las centrales de concentración solar tienen los menores costos de inversión, con aproximadamente US\$2,200/kW. Los sistemas fotovoltaicos en conexión con la red cuestan US\$8,000/kW, y los sistemas fuera de red el doble. Los costos de la electricidad generada son todavía demasiado altos para poder ser competitivos con otras tecnologías: entre 12 y 18 US ¢/kWh para centrales de concentración solar, entre 0.26US ¢/ kWh (Mx\$2.85) y 0.36 US ¢/kWh (Mx\$3.94) para sistemas fotovoltaicos en conexión a la red eléctrica en México, suponiendo un costo de inversión de US\$7,490.90/kW (Mx\$82,400) y entre 40 y 60 US ¢/kWh para sistemas rurales fotovoltaicos. Se



espera, sin embargo, que estos costos disminuyan significativamente en el transcurso de los próximos lustros.

#### 4.2.6.2 ESTADO ACTUAL

En el Mundo existe una capacidad instalada fotovoltaica de 13 GW en conexión con la red eléctrica, y de aproximadamente 2.7 GW fuera de red. La capacidad de concentración solar, por su lado, alcanza los 0.5 GW de capacidad.

En México, prácticamente todos los sistemas fotovoltaicos se encuentran en comunidades rurales aisladas de la red eléctrica, y muchos de ellos fueron instalados por medio de programas gubernamentales de electrificación rural. Se estima que la capacidad total de estas instalaciones es de 18.5 MW y que generan en promedio 0.032 TJ/año.

Gracias a nuevas regulaciones que hacen posibles las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica, ya existen en México algunos proyectos de este tipo, y hay interés de diversos actores por desarrollar más proyectos, en particular en Baja California. Sin embargo, la viabilidad económica depende fuertemente de los costos de inversión y la tarifa contra la cual el sistema compete.

Por lo que se refiere a la tecnología de concentración solar, existen planes para la construcción de una instalación de este tipo en Agua Prieta, Sonora. Dicha instalación funcionaría en combinación con una central de ciclo combinado de gas natural.



Figura 4.18 Paneles solares.

Fuente: FENERCOM.

#### 4.2.6.3 POTENCIAL

La irradiación solar global en México es en promedio de 5 kWh/día/m<sup>2</sup>, pero en algunas regiones del país se llega a valores de 6 kWh/día/m<sup>2</sup>. Suponiendo una eficiencia del 15%, bastaría un cuadrado de 25 km de lado en el desierto de Sonora o Chihuahua para generar toda la energía eléctrica que requiere hoy en día el país. Por ello, el potencial técnico se puede considerar prácticamente infinito.

El potencial económico y financiero, sin embargo, se limita a nichos específicos debido a los altos costos de las tecnologías. Para comunidades aisladas de la red eléctrica, el alto costo de extensión de la red implica que la tecnología fotovoltaica sea en la mayoría de los casos la más económica para satisfacer aplicaciones energéticas de alto valor y poco consumo de energía, tales como iluminación y aparatos electrónicos.

Por lo que se refiere a la generación de electricidad en conexión con la red eléctrica, existen nichos de mercado financieramente viables para consumidores residenciales de electricidad de una capacidad de al menos 700 MW.

#### 4.2.7 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.

Dado el crecimiento real que se está produciendo en la generación de residuos urbanos, se hace necesaria una adecuada gestión de los mismos, apostando por la utilización de métodos que permiten su reutilización o eliminación en el mayor grado posible, además de la modificación de los hábitos sociales para disminuir su producción.



Existen varios métodos para la eliminación o disposición final de los residuos sólidos urbanos que, con distinto grado de desarrollo tecnológico. Permiten, unos la obtención de energía (digestión anaerobia, incineración, gasificación o pirolisis y valorización energética del gas obtenido, etc.) y otros contribuir directamente a ahorros energéticos o a la conservación de los recursos (reciclaje y compostaje).

El vertido controlado o relleno sanitario consiste en el almacenamiento de residuos en terrenos amplios que se excavan y se rellenan con capas alternativas de basura y de tierra compacta. Posteriormente, una vez sellados, estos terrenos se pueden convertir en áreas recreativas o zonas industriales.

Debido a la descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos almacenados, se genera el llamado biogás de vertedero. Su recuperación energética, debido a su menor costo, es el procedimiento más generalizado en los países de nuestro entorno.

La incineración en hornos consiste en quemar los residuos en hornos especiales, reduciendo el volumen de basura y obteniéndose gran cantidad de calor que puede aprovecharse para calefacción urbana o para generar energía eléctrica. El inconveniente está en los gases que se generan en la combustión (fundamentalmente dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y de azufre y cenizas volátiles) que deben controlarse mediante sistemas de lavado y filtrado para evitar la emisión de sustancias tóxicas a la atmósfera. Éste es el proceso más utilizado (después del vertido) en la Unión Europea.

La elección de uno u otro método dependerá, fundamentalmente, de criterios económicos locales y requerirá una clasificación previa al almacenamiento de los residuos que facilite su tratamiento posterior.

Generalmente, las plantas incineradoras de residuos sólidos urbanos son de potencias mayores de las consideradas como GD. Sin embargo, existe algún ejemplo de instalaciones de menos de 10 MW. Por ejemplo, en Melilla se constituyó en 1993 la sociedad Residuos de Melilla (REMESA) para construir y explotar una planta incineradora de 2.7 MW de potencia, que permitirá tratar todos los residuos de la ciudad, desde domiciliarios y comerciales, hasta hospitalarios, así como también aceites usados.

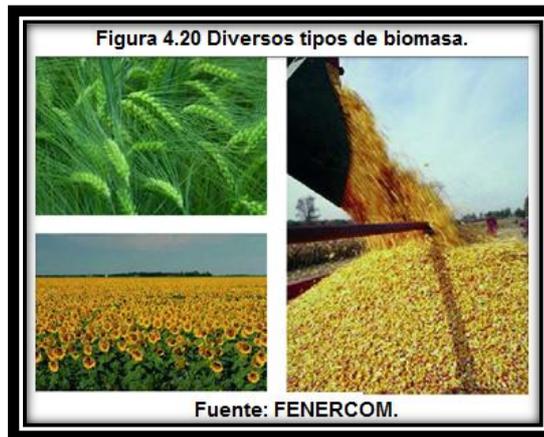
#### **4.2.8 BIOMASA.**

Se denomina biomasa a toda aquella materia orgánica cuyo origen está en un proceso biológico y a los procesos de reciente transformación de esta materia que se produzcan de forma natural o

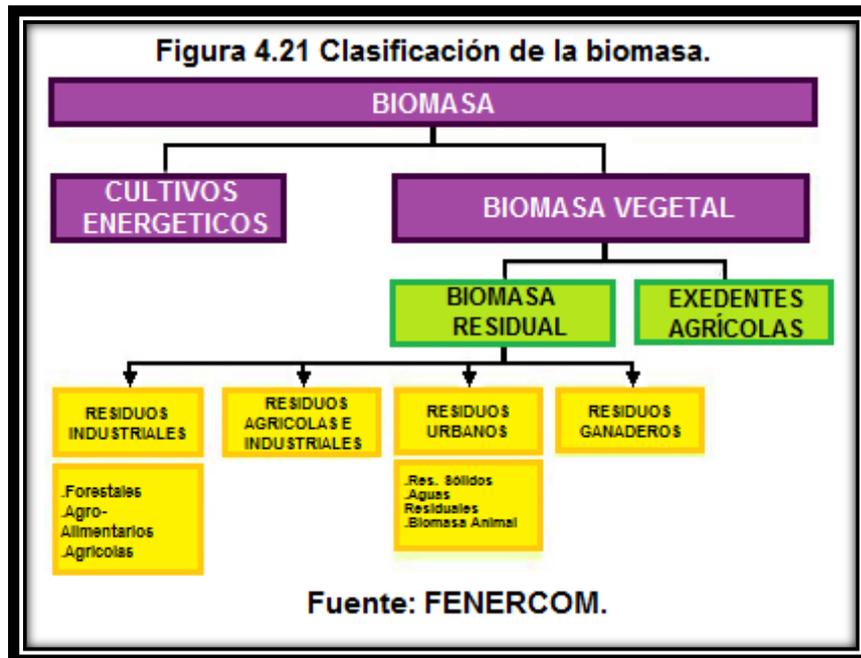


artificial, excluyendo, por tanto, de este grupo a los combustibles fósiles, cuya formación tuvo lugar hace millones de años.

Al estar constituida básicamente por carbono e hidrógeno, la energía química de la materia orgánica, producida en las plantas verdes a través de la fotosíntesis, puede ser transformada en energía eléctrica, térmica o combustible mediante diversos procesos.



Según su origen, la biomasa se puede clasificar en dos grandes grupos: la biomasa vegetal y los cultivos energéticos.



La Biomasa Vegetal incluye los excedentes agrícolas, constituidos por los productos agrícolas que no emplea el hombre, y la biomasa residual, que incluye:

- a) **Residuos forestales y agrícolas:** se consideran residuos forestales la leña, la madera y los desechos madereros. En cuanto a los residuos agrícolas, pueden estar compuestos por las podas de los olivos, viñedos y frutales; por la paja de los cereales de invierno (trigo, cebada, etc.) o por residuos de otros cultivos como el cañote de maíz.



- b) **Residuos ganaderos:** en este grupo se encuentran el purín, el estiércol y los desechos de los mataderos.
- c) **Residuos industriales:** pueden provenir de industrias forestales, agrícolas (residuos de la industria del aceite de oliva, etc.) o del sector agroalimentario.
- d) **Residuos urbanos:** residuos sólidos urbanos (RSU) y aguas residuales urbanas (ARU).

Los Cultivos Energéticos son plantaciones realizadas con la única finalidad de ser utilizadas como fuente de energía (calor) o como materia prima para la obtención de combustibles (biocombustibles). Se caracterizan, por una parte, por su alta producción por unidad de superficie y año y, por los pocos requerimientos que exige su cultivo.

Según el grado de humedad con el que se ha obtenido, la biomasa sigue tratamientos diferente, distinguiéndose, por un lado, los procesos termoquímicos y, por otro, los químicos y bioquímicos.

TABLA 4.3 TRATAMIENTOS POSIBLES DEL TIPO BIOMASA.				
Tipo de biomasa	Tecnología			
	Combustión	Gasificación Pirólisis	Fermentación alcohólica	Digestión anaerobia
Forestal	X	X		
Agrícola	X	X	X	
Ganadera				X
Industrial	X			X
Urbana	X			X

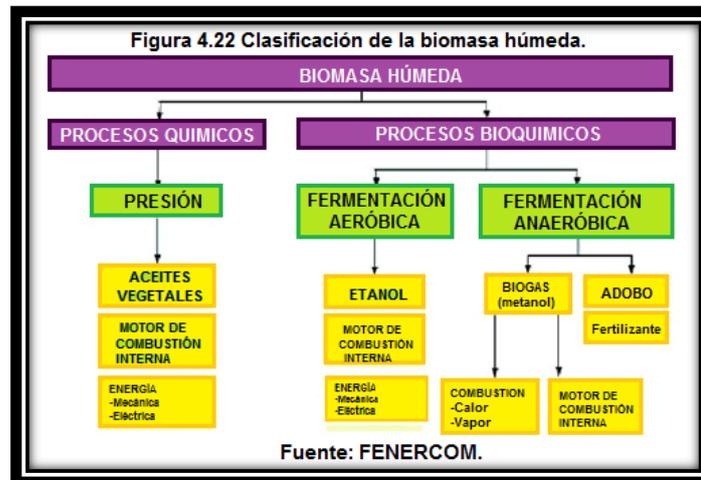
Los **procesos termoquímicos** se emplean en la conversión de la biomasa seca, que es aquella cuyo grado de humedad es inferior al 60%.

Dentro de la biomasa seca, se incluyen la biomasa forestal y agrícola, así como los residuos de la industria agroalimentaria o del sector de la madera.

El proceso termoquímico consiste en la descomposición térmica de la biomasa en diferentes condiciones de oxidación:

- **Combustión directa:** se realiza con exceso de oxígeno, obteniendo calor y vapor.
- **Gasificación:** se realiza con restricción en el suministro de oxígeno. Si la gasificación se realiza con aire, se obtiene gas pobre y si se realiza con oxígeno, se obtiene gas medio.
- **Pirólisis:** se realiza en ausencia total de oxígeno y se obtiene carbón vegetal, gas pobre, gas rico o líquidos piroleñosos.

Los procesos químicos y bioquímicos se emplean para el tratamiento de la biomasa húmeda, que es aquella con un grado de humedad mayor del 60%. En este grupo se incluyen los vertidos biodegradables, las aguas residuales urbanas e industriales, y los residuos ganaderos. Estos procesos permiten obtener combustibles que se utilizarán para la producción de calor o electricidad. Dependiendo del tipo de biomasa y de los productos que se quieran obtener, se empleará uno u otro método.



En general, la biomasa presenta unas características de combustión inferiores, comparada con los combustibles fósiles, debido a su baja densidad energética y alta humedad, además de la imposibilidad de almacenarla durante mucho tiempo porque se deteriora. Sin embargo, su potencial es lo suficientemente elevado como para justificar el estudio y desarrollo de tecnologías que permitan un uso eficiente de la misma como fuente de energía.

A pesar de que el aprovechamiento de la biomasa en los países industrializados es aún muy escaso (del orden del 3-4%), en los países en vías de desarrollo constituye la principal fuente de energía. Se trata de una tecnología que favorece el reciclaje de residuos, contribuyendo a una mayor limpieza de los bosques y disminuyendo así el riesgo de incendio. Sin embargo, la necesidad de grandes superficies de cultivo e infraestructura de transporte y el estado de desarrollo de la tecnología hace que se presenten inconvenientes para su utilización masiva.

Un ejemplo de utilización de la biomasa lo encontramos en Allariz (Orense), donde se construyó una planta de cogeneración con turbina de vapor de 2.35 MW que utiliza como combustible los residuos forestales de la zona y residuos industriales de los aserraderos y fábricas de tablero de la comarca.

#### 4.2.9 MICROTURBINAS.

Las microturbinas son turbinas de pequeño tamaño (25-500 kW) que permiten obtener calor y electricidad (cogeneración) para aplicaciones industriales y comerciales, con eficiencias térmicas en el rango del 50-60% y eléctricas entre el 15-30%. Se trata de una tecnología emergente y las más desarrolladas son las microturbinas de potencia inferior de 200 kW, aunque se están haciendo grandes avances en las de mayor potencia.





Su funcionamiento es similar al de una turbina de gas convencional con la particularidad de que los elementos para la generación eléctrica se encuentran acoplados en la propia turbina.

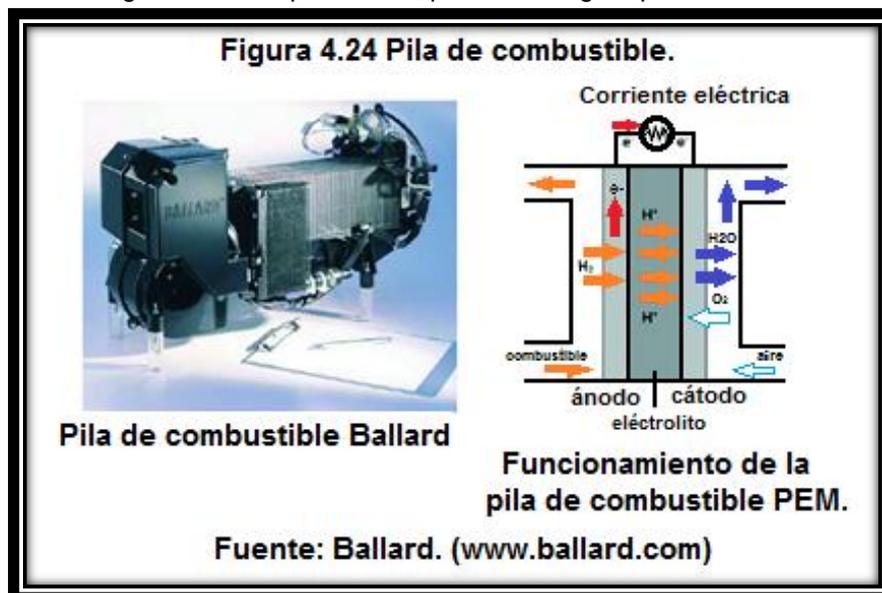
Las microturbinas de gas tienen una aplicación directa en la GD, bien como elementos independientes de generación, o bien como integrantes de instalaciones híbridas con pilas de combustibles, micro-cogeneración o, en el terreno del transporte, vehículos eléctricos híbridos.

Un ejemplo de uso de microturbinas se encuentra en instalaciones de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, en una de ellas, un deportivo para jubilados, trabajadores de la secretaria y público en general se cuenta con cuatro microturbinas con una potencia cada una de 60 kW, el calor obtenido de las microturbinas se utiliza para calentar el agua de las duchas y de la piscina. Y en otra instalación de microturbinas de oficinas centrales de la secretaria mediante absorbedores el calor obtenido de las microturbinas se utiliza para climatizar el edificio.

#### 4.2.10 PILAS DE COMBUSTIBLE.

Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos que transforman la energía química de un combustible rico en hidrógeno, en electricidad, agua y calor. Esta transformación tiene lugar por medio de un proceso de electrólisis inversa, aportando oxígeno al cátodo e hidrógeno al ánodo en presencia de un electrolito. En el proceso también se generan gases procedentes de la extracción del hidrógeno del gas natural u otros combustibles.

Se trata de una tecnología en fase experimental, pero con un gran potencial de desarrollo.



Se clasifican por el tipo de electrolito empleado y por la temperatura de trabajo. La Tabla 4.4 resume los diferentes tipos de pilas existentes (las que están más desarrolladas), atendiendo a estas dos clasificaciones, así como las características más importantes de cada una de ellas.

- **AFC:** alcalinas.
- **PEMFC:** de membrana polimérica.
- **DMFC:** conversión directa de metanol.
- **PAFC:** ácido fosfórico.
- **SOFC:** óxido sólido.



TABLA 4.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE.

	Baja temperatura(60-130 °C)			Media Temperatura (160-220 °C)	Alta temperatura (600-1000 °C)	
	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
<b>Electrolito</b>	KOH	Polímero Perfluoro-sulfonado	Polímero	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> / K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	YSZ (ZrO <sub>2</sub> estabiliza con itria)
<b>Combustible</b>	H <sub>2</sub> puro	H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> CH <sub>3</sub> OH	CH <sub>3</sub> OH+	H <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> OH	H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> CH <sub>4</sub> CO

Fuente: FENERCOM.

TABLA 4.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE. (continuación)

	Baja temperatura(60-130 °C)			Media temperatura (160-220 °C)	Alta temperatura (600-1000 °C)	
	AFC	PEMFC	DMFC	PAFC	MCFC	SOFC
<b>Temperatura Operación, °C</b>	60-90	0-80	60-130	160-220	600-700	750-1.050
<b>Tamaño, kW</b>	1-250	1-250	1-100	100-11.000	250-10.000	1-10.000
<b>Eficiencia,%</b>	45-60	40(CH <sub>4</sub> ) 60(H <sub>2</sub> )	32-40	35-45	45-60	50-65
<b>Aplicaciones</b>	Militar, Espacial transporte	Cogeneración (residencial, industria), transporte, portátiles	Portátil, Militar, transporte	Cogeneración		

Fuente: FENERCOM.

Las pilas de combustible están formadas por “stacks” de conexión modular, por lo que la potencia de salida (tensión y corriente) es adaptable en función del número de módulos y las conexiones empleadas.

Actualmente, los principales inconvenientes de las pilas son su elevado costo y la degradación del electrolito, que no permite alcanzar una vida útil en el límite de la rentabilidad. Por otro lado, mantienen una eficiencia constante en un amplio rango de carga (desde el 30 hasta el 100%), poseen un bajo impacto medioambiental, puesto que no hay combustión a alta temperatura, y su eficiencia máxima teórica puede llegar a alcanzar, teóricamente, el 95%.

El primer ejemplo de utilización de esta tecnología en España se encuentra, desde 2003, en Cartagena, que cuenta con una instalación de trigeneración a partir de una pila MCFC alimentada con gas natural. El proyecto fue desarrollado por la empresa IZAR y la potencia instalada es de 250 kW, con un rendimiento energético global superior al 85%.

## 4.2.11 TECNOLOGÍAS EMERGENTES.

### 4.2.11.1 MARINA.

La energía marina comprende el aprovechamiento de la energía cinética de las olas (producida por la acción del viento), la energía cinética de las corrientes y el desnivel de las mareas (debido a efectos gravitatorios) y la energía térmica debida al gradiente de temperatura existente a diferentes profundidades como consecuencia de la irradiación solar.

Esta tecnología aún presenta bajo grado de desarrollos tecnológicos y elevados constantes de instalación.



Así, los tipos de aprovechamiento energético de la energía del mar son:

- a) **Energía de las mareas (mareomotriz):** se basa en el movimiento periódico alternativo de ascenso-descenso del nivel del mar debido a la fuerza de atracción gravitacional entre la Tierra y la Luna. Su rendimiento es de un 25% y su principal inconveniente es el reducido número de horas en que se puede utilizar. En el estuario del río Rance (Francia), EDF (principal empresa generadora y distribuidora de electricidad en Francia) instaló una central de este tipo, con una producción media de unos 500,000 kWh al año.
- b) **Energía de las corrientes marinas:** se basa en aprovechar el flujo de la corriente marina para generar electricidad. Uno de los métodos usados consiste en utilizar la corriente para hacer girar un rotor, de manera análoga a como lo hacen los aerogeneradores eólicos. Para ello, se emplea las llamadas turbinas marinas.
- c) **Energía de las olas (undimotriz):** aprovecha la acción del viento sobre la superficie del mar que provoca el movimiento del agua en forma de olas. Se trata de un recurso de densidad energética débil, con lo que su explotación se hace difícil a pesar de que existen unas 600 patentes registradas desde 1973. Estas tecnologías son de aplicación tanto en la costa (columna de agua oscilante, etc.) como fuera de ella (Pelamis, OPT, etc.).



- d) **Energía térmica oceánica (maremotérmica):** aprovecha las diferencias de temperatura del agua, entre la superficie y las profundidades, para producir energía eléctrica. El agua superficial actúa, en este caso, como fuente de calor, mientras que el agua extraída de las profundidades actúa como refrigerante. El gradiente térmico mínimo aprovechable es de 18°C, que es el que se alcanza en zonas próximas al trópico (a 1 km de profundidad). El rendimiento de esta instalación apenas supera el 2% y no existe ninguna en la actualidad.



#### 4.2.11.2 GEOTÉRMICA.



La energía geotérmica consiste en el aprovechamiento del calor acumulado en rocas o aguas que se encuentran a elevada temperatura en el interior de la Tierra. La energía térmica de un yacimiento es extraída haciendo circular agua o vapor a través, transportando así el calor almacenado en las zonas calientes hasta la superficie. Sólo es aprovechable en lugares muy concretos del planeta.

De acuerdo con el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), se trata de una fuente de energía renovable abundante y de explotación viable, técnica y económicamente y su existencia en nuestro subsuelo está probada.

Dependiendo del nivel térmico del fluido, hay tres formas de aprovechamiento. Los procesos de alta temperatura (entre 150 y 400°C) se emplean para la producción directa de electricidad. Los de media temperatura (entre 70 y 150°C) se pueden emplear para producir electricidad mediante el uso de ciclos binarios, con aplicación en procesos industriales. Por último, los de baja temperatura (por debajo de 70°C) se emplean en usos directo del calor, como calefacción de viviendas, procesos industriales, usos agrícolas, y cuando la temperatura es muy baja (20-30°C), agua caliente sanitaria y aire acondicionado con el empleo de bomba de calor.

#### 4.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO.

La variabilidad temporal de las fuentes de energía renovable hace indispensable la utilización de sistemas de almacenamiento que permitan disponer de energía de forma continua. Estos sistemas que permiten colaborar en el seguimiento de la demanda por parte de la generación, evitando el arranque de grupos térmico en emergencias breves, cubriendo las irregularidades de suministro y optimizando la planificación de los sistemas de generación.

Asimismo, es posible reducir la demanda máxima y optimizar los consumos, desplazándolos a horas en que el precio sea menor.

A la hora de elegir un sistema de almacenamiento, habrá que tener en cuenta diversos aspectos.

- Capacidad de almacenamiento adecuada.
- Potencia aportada.
- Respuesta suficientemente rápida, modulada y controlada.
- Vida útil suficiente para reducir la amortización.
- Costos de mantenimiento y consumibles reducidos.
- Costo compatible.
- Bajo impacto ambiental.

**TABLA 4.5 PUNTOS FUERTES Y DÉBILES DE LOS DIVERSOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO.**

Tecnología	Madurez	Densidad energética	Vida (en ciclos)	Coste/kWh	Coste/kW
Bombeo	****	*	****	****	*
Volante	**	**	****	***	***
Aire a presión	***	*	****	****	*
Batería plomo ácido	****	*	**	***	***
Batería Niquel-Cadmio	****	**	**	***	***
Batería Sodio-Azufre	**	***	***	***	**
SMES	**	*	****	**	****
Ultracapacidad	*	*	****	***	****

Mejor: \*\*\*\* Medio: \*\*\* Peor.\*  
Fuente: FENERCOM.



**TABLA 4.6 CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO.**

Tecnología	Tiempo de descarga	Banda de potencia	Eficiencia	Disponibilidad comercial	Aplicación
Térmico			65%(en promedio)		Solar térmica, biomasa, Geotérmica y Electricidad de red con muchas renovables
Bombeo	Horas-días	100-1.000 MW	66%(en promedio)	Disponible	Hidráulica y electricidad de red con muchas renovables.
Volante	Segundos-minutos	10-100 kW	78%(en promedio)	Disponible	Electricidad de red con muchas renovables
Aire a presión	Horas-días	100-1.000 MW	69%(en promedio)	Disponible	Electricidad de red con muchas renovables
Batería Plomo ácido	Minutos-horas	1kW-40 MW	60.7-67.7%	Disponible	Electricidad de red con muchas renovables
Batería Níquel-Cadmio	Segundos-horas	1kW-40 MW		Disponible	Hidráulica, Fotovoltaica, Eólica, maremotriz, undimotriz
Batería Sodio-Azufre	Horas-días	50kW-10 MW	56.7-72.2%		
hidrogeno			24-58%		Hidráulica, Fotovoltaica Eólica, maremotriz y undimotriz
SMES	segundos	1-100MV		prototipos	Fotovoltaica y electricidad de red con muchas renovables
	segundos	10 kW-1 MW	90%(en promedio)	prototipos	Fotovoltaica y Electricidad de red con muchas renovables

Fuente: FENERCOM.

Los sistemas de almacenamiento más desarrollados y utilizados son las baterías, bombeo, almacenamiento térmico, aire a presión y volantes de inercia.

Las **baterías electroquímicas** constituyen el sistema clásico de almacenamiento de energía eléctrica en forma de corriente continua, basado en reacciones de oxidación-reducción que tiene lugar en los electrodos separados por un electrolito.

Las más extendidas en el mercado son las baterías de plomo-ácido.



Fuente: FENERCOM. LABEIN-TECNALIA.

Dentro de la categoría plomo-ácido, las de plomo-antimonio, plomo-selenio y plomo-calcio son las más comunes. Los electrodos son de plomo y óxido de plomo y el electrolito está habitualmente constituido por una disolución de ácido sulfúrico en agua, por lo que genera gases y requiere un mantenimiento periódico añadiendo agua.

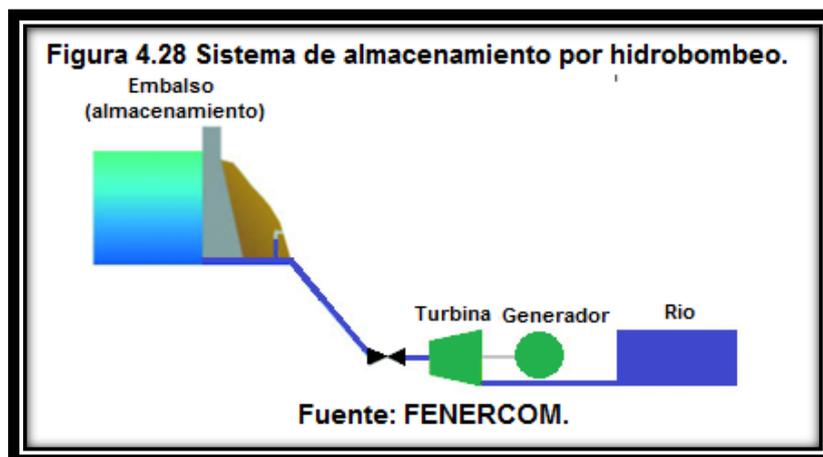


Los inconvenientes más importantes de este tipo de baterías son su baja energía específica, ciclo corto de vida, limitaciones con la temperatura, problemas de corrosión en las pletinas positivas y la imposibilidad de recuperación una vez que la descarga desciende por debajo del 80% de la carga total.

Otro tipo de baterías disponible en el mercado son las de níquel-cadmio. Éstas no tiene los inconvenientes de las baterías de plomo-ácido; sin embargo, su gran problema es la alta toxicidad del cadmio y su elevado costo.

En la actualidad, las tecnologías en desarrollo se centran en la utilización del litio, bien en forma de litio-ión o litio-polímero, y el Ni-HM, pero su costo es todavía elevado.

Los sistemas de **bombeo de agua o hidrobombeo** permiten el almacenamiento de energía en forma de energía potencial, utilizando para ello dos depósitos de agua a diferente altura. Durante los periodos de baja demanda de electricidad, el agua es elevada del depósito inferior al superior; mientras que durante las horas pico su funcionamiento es como el de una central hidroeléctrica convencional, dejando caer el agua y generando electricidad.



La principal limitación de este sistema es el número reducido de lugares apropiados para la construcción de los depósitos.

En los sistemas de **almacenamiento térmico** se aprovecha el calor de un medio de almacenamiento para guardar el calor. Se utilizan, por ejemplo, lechos de roca, agua caliente, líquidos orgánicos, metales, ladrillos, sales, etc.

Durante las horas de baja demanda, se almacena el calor que se va a utilizar al día siguiente y que se produce consumiendo electricidad en horas en que el precio es más bajo. Tiene aplicación, sobre todo, en el sector residencial.

En el sistema de aire comprimido (CAES – Compressed Air Energy Storage), el aire a alta presión es almacenado en depósitos bajo tierra naturales o artificiales (minas abandonadas, cavidades rellenas con soluciones minerales, acuíferos, etc.) durante las horas de baja demanda. Posteriormente, en las horas pico, el aire almacenado se expande, moviendo un turbogenerador.

Los volantes de inercia o flywheel permiten el almacenamiento de energía en forma de energía cinética de rotación mediante el giro permanente de una masa (volante), aumentando la energía



almacenada a media que aumenta la velocidad de giro del volante. Para generar electricidad, los volantes giratorios se conectan a un motor-generador.

#### 4.4 SISTEMAS DE INTERCONEXIÓN A LA RED

Muchos equipos de generación distribuida operan en paralelo con la red eléctrica, para lo cual necesitan estar conectados a ella de forma adecuada. El sistema de interconexión está formado por una serie de equipos (hardware y software) que permite realizar la conexión física del generador distribuido y los equipos de almacenamiento con la red eléctrica (normalmente, la red de distribución local) y con las cargas locales (consumidores). Proporciona acondicionamiento y conversión de la energía (en caso necesario), protección, monitorización, control, medida y despacho de la unidad de GD. Cabe señalar; no obstante, que algunos equipos de GD no se conectan a la red, trabajando en todo momento en “modo aislado”.

En el primer caso, la complejidad de la conexión dependerá del nivel de interacción que se necesite entre los generadores, las cargas y la red eléctrica, permitiendo:

- Operar el equipo de GD como la principal fuente de energía y comprar al sistema en las horas en que se produzcan picos de demanda.
- Obtener energía de la red en caso de que se produzca una indisponibilidad en el sistema de GD.
- Exportar energía, proporcionar servicios auxiliares al sistema eléctrico o vender energía en el mercado liberalizado.
- Mejorar la fiabilidad proporcionando una fuente de energía alternativa.

##### 4.4.1 ARQUITECTURAS Y COMPONENTES.

Los componentes de un sistema de interconexión se resumen en la Figura 4.29 y en la Tabla 4.7.

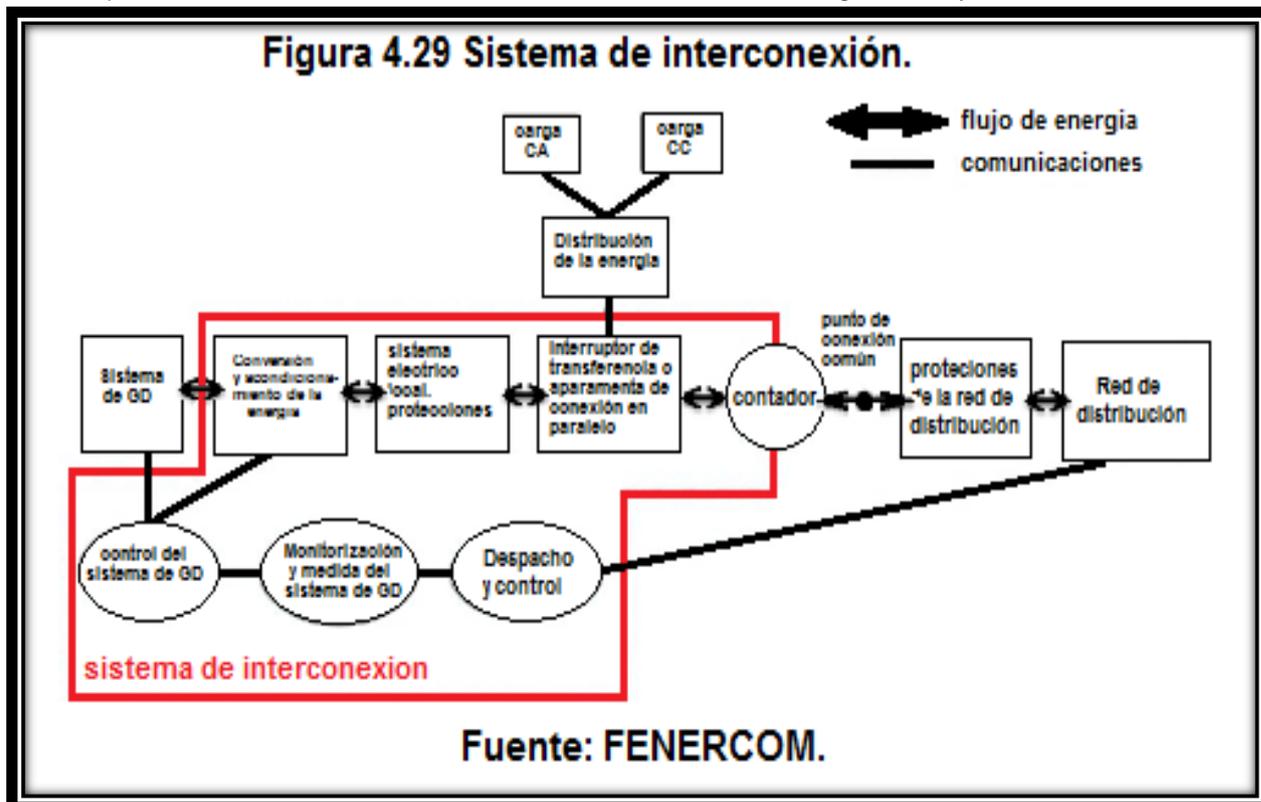




TABLA 4.7 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE INTERCONEXIÓN.

Sistema de GD	Generador distribuido y equipos de almacenamiento
Conversión y acondicionamiento de la energía	<p><b>Inversor:</b> dispositivo electrónico que se utiliza para convertir la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA). se utiliza cuando la fuente de GD es una pila de combustible, un panel fotovoltaico o una microturbina.</p> <p><b>Transformador:</b> dispositivo eléctrico que se utiliza en líneas de CA para transformar la energía de un nivel de tensión a otro y/o proporcionar aislamiento eléctrico. Debe tener baja distorsión armónica resistencia a potencias punta y posibilidad de conectarse en paralelo.</p>
Control del sistema de GD	Dispositivo que controla el dispositivo de GD y proporciona un interfaz de comunicaciones, gestión de la energía, monitorización y medida.
Distribución de la energía	<p>Panel que contiene interruptores, interruptores automáticos, fusibles y/o dispositivos automáticos de control de sobre intensidades. Todo esto, conecta la red y la unidad de GD con la canalización eléctrica de la instalación, proporcionando seguridad personal y protección a los equipos.</p> <p><b>Carga CA:</b> son los dispositivos que consumen CA  <b>Carga CC:</b> equipos que consumen CC</p>
Sistema eléctrico local	Conjunto de canalizaciones eléctricas de la instalación, paneles y componentes que constituyen la unidad de GD y el sistema de interconexiones que se encuentran en el lado de la unidad de GD del punto de conexión común (PCC).
Protecciones del sistema eléctrico local	Dispositivos eléctricos diseñados para interpretar las condiciones de entrada y, si las especificaciones se cumplen, controlar la operación de los equipos para proteger un circuito eléctrico.
Interruptor/Conmutador de transferencia	Equipo de actuación automática para transferir cargas de un generador a otro. Puede ser: <b>Automático o Estático.</b>
Aparatos de conexión en paralelo	Dispositivo que conecta en paralelo y sincronizar la operación de las unidades de GD con la red de distribución. El objetivo es poder intercambiar entre ambos o utilizarlos a la vez.
Punto de conexión común	Punto donde el sistema eléctrico local se conecta a la red de distribución.
Medidor	Dispositivo que mide y registra la energía generada, la suministrada a la red y la suministrada por la red. No será necesario en instalaciones aisladas.
Protecciones de la red de distribución	Dispositivos eléctricos diseñados para interpretar las condiciones de entrada y, si las especificaciones se cumplen, controlar la operación de los equipos para proteger un circuito eléctrico.
Red de distribución	Es la red de la compañía eléctrica distribuidora local
Despacho y control	Dispositivos y equipos de comunicación que interactúan con el sistema de GD y lo gestionan
Monitorización y medida del sistema de GD	Dispositivo que monitoriza y mide varias funciones del sistema de GD

Fuente: FENERCOM.



## CAPÍTULO 5

### SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

#### 5.1 ¿QUÉ ES LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA?

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica. Esta definición de la energía solar fotovoltaica, aunque es breve, contiene aspectos importantes sobre los cuales se puede profundizar:

1. **La energía solar se puede transformar de dos maneras:** La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama energía solar térmica. La transformación se realiza mediante el empleo de colectores térmicos. La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad. A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica. La transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos.
2. La energía solar fotovoltaica se utiliza para hacer funcionar lámparas eléctricas, para iluminación o para hacer funcionar radios, televisores y otros electrodomésticos de bajo consumo energético, generalmente, en aquellos lugares donde no existe acceso a la red eléctrica convencional.
3. Es necesario disponer de un sistema formado por equipos especialmente construidos para realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Este sistema recibe el nombre de sistema fotovoltaico y los equipos que lo forman reciben el nombre de componentes fotovoltaicos.

La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo. Algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos tienen muchas aplicaciones. En el caso particular de América Central, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa muy interesante, desde las perspectivas técnica y económica, pues la región dispone durante todo el año de abundante radiación solar. Según las clasificaciones de la intensidad de la radiación solar en diferentes regiones del mundo, el continente americano es una región muy privilegiada con respecto del recurso solar disponible, aunque siempre es necesario evaluar el potencial solar de un sitio específico donde se planea instalar un sistema fotovoltaico.

La energía del sol es un recurso de uso universal; por lo tanto, no se debe pagar por utilizar esta energía. Sin embargo, es importante recordar que para realizar la transformación de energía solar en energía eléctrica se necesita de un sistema fotovoltaico apropiado. El costo de utilizar la energía solar no es más que el costo de comprar, instalar y mantener adecuadamente el sistema fotovoltaico.

#### 5.2 FUNCIONAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA.

##### 5.2.1 ¿QUÉ ES UN SISTEMA FOTOVOLTAICO?

Es un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en energía eléctrica.
- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada.
- Proveer adecuadamente la energía producida (el consumo) y almacenada.
- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada.

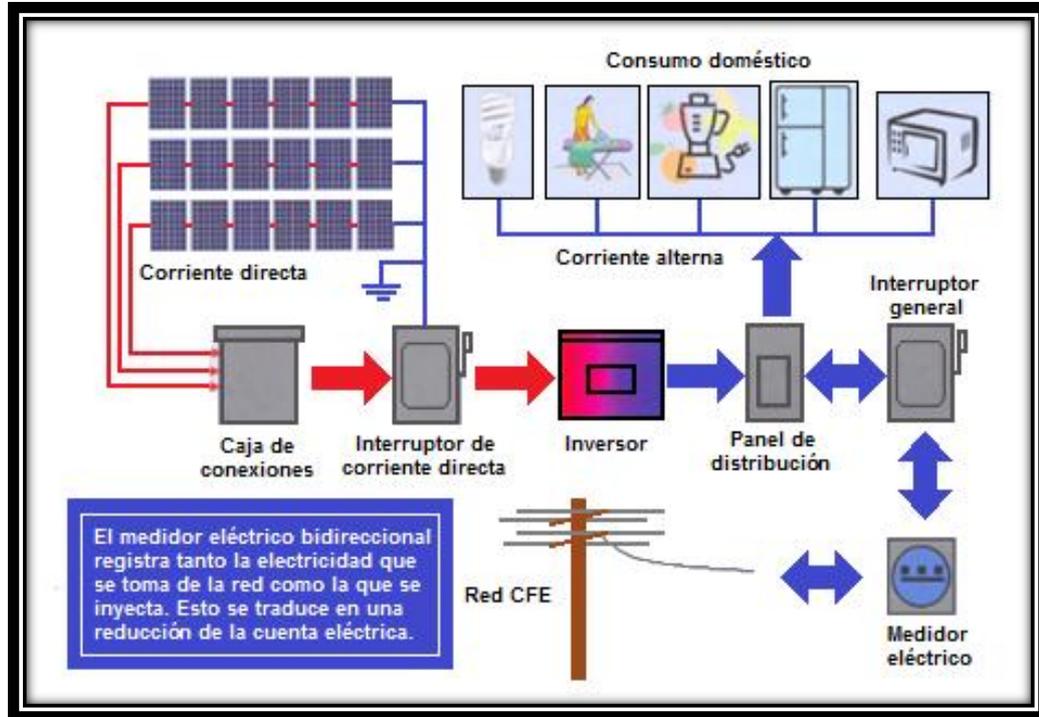
En el mismo orden antes mencionado, los componentes fotovoltaicos encargados de realizar las funciones respectivas son:

- a) El módulo o panel fotovoltaico.
- b) La batería.
- c) El regulador de carga.



- d) El inversor.
- e) Las cargas de aplicación (el consumo).

**FIGURA 5. ESQUEMA SIMPLE DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.**



Fuente: IIE

Los módulos FV producen corriente eléctrica continua (también nombrada corriente directa), por lo que para aplicaciones de interconexión con la red se requiere su transformación a corriente alterna. Esta transformación se realiza a través de equipos llamados inversores. Además, se requiere otros elementos para completar el sistema: cables, cajas de conexiones, protecciones, interruptores y un medidor eléctrico bidireccional. El medidor eléctrico bidireccional registra tanto la electricidad que se toma de la red como la que se inyecta. Esto se traduce en una reducción de la cuenta eléctrica.

En instalaciones fotovoltaicas pequeñas es frecuente, además de los equipos antes mencionados, el uso de fusibles para la protección del sistema. En instalaciones medianas y grandes, es necesario utilizar sistemas de protección más complejos y, adicionalmente, sistemas de medición y sistemas de control de la carga eléctrica generada.

### 5.2.2 CELDAS FOTOVOLTAICAS.

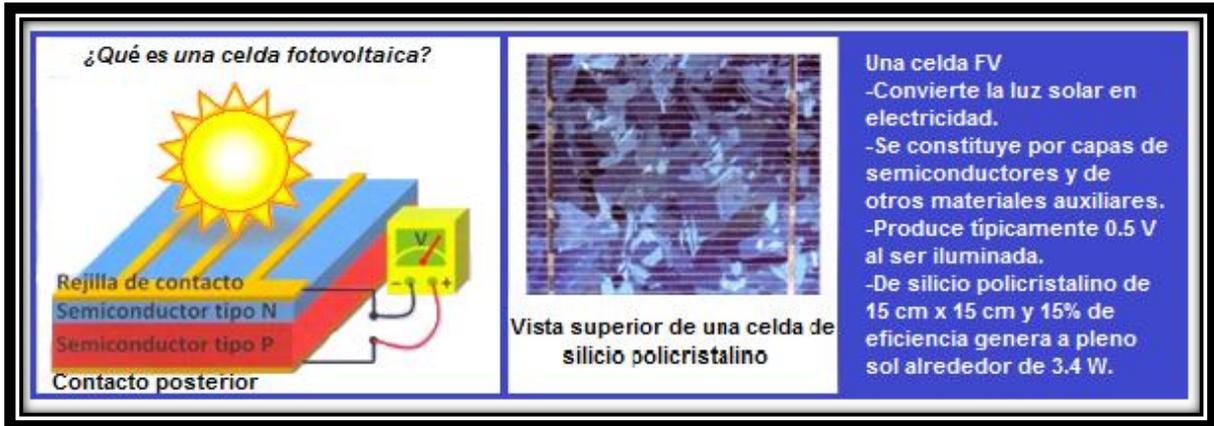
Una celda fotovoltaica es el componente que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, basado en el efecto fotovoltaico que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos materiales.

Las celdas fotovoltaicas son hechas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, de los cuales el silicio, es el más usado. El silicio se encuentra abundantemente en todo el mundo porque es un componente mineral de la arena. Sin embargo, tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico, lo cual encarece el proceso de la producción de las celdas fotovoltaicas.

Una celda fotovoltaica tiene un tamaño de 10 por 10 centímetros y produce alrededor de un watt a plena luz del día. Normalmente las celdas fotovoltaicas son color azul oscuro. La mayoría de los paneles fotovoltaicos consta de 36 celdas fotovoltaicas.



FIGURA 5.1 CELDA FOTOVOLTAICA.



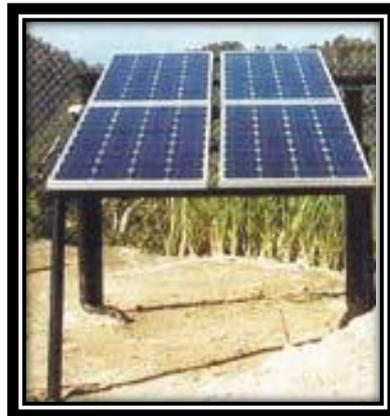
Fuente: IIE

### 5.2.3 MARCO DE VIDRIO Y ALUMINIO.

Este tiene la función principal de soportar mecánicamente a las celdas fotovoltaicas y de protegerlas de los efectos degradantes de la intemperie, por ejemplo: humedad y polvo. Todo el conjunto de celdas fotovoltaicas y sus conexiones internas se encuentra completamente aislado del exterior por medio de dos cubiertas, una frontal de vidrio de alta resistencia a los impactos y una posterior de plástico EVA (acetato de vinil etileno).

El vidrio frontal es anti reflejante para optimizar la captación de los rayos solares. El marco de aluminio también tiene la función de facilitar la fijación adecuada de todo el conjunto a una estructura de soporte a través de orificios convenientemente ubicados.

FIGURA 5.2 CONJUNTO DE PANELES FOTOVOLTAICOS TÍPICO Y SU ESTRUCTURA METÁLICA DE SOPORTE.



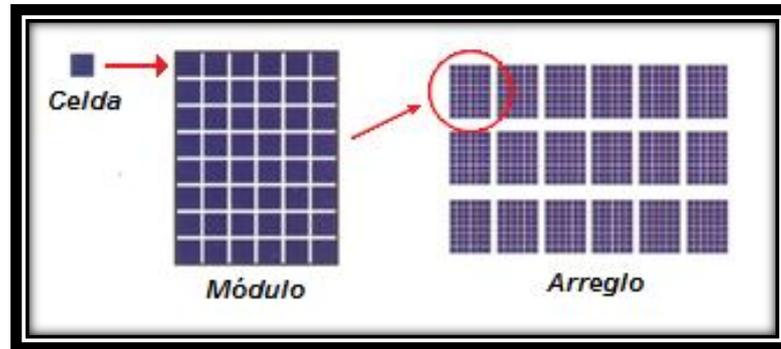
Fuente: IIE

### 5.2.4 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

La transformación directa de la energía solar en energía eléctrica se realiza en un equipo llamado módulo o panel fotovoltaico. Los módulos o paneles solares son placas rectangulares formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado.



FIGURA 5.3 CELDA, MÓDULO Y ARREGLO FOTOVOLTAICO TÍPICO.



FUENTE: IIE

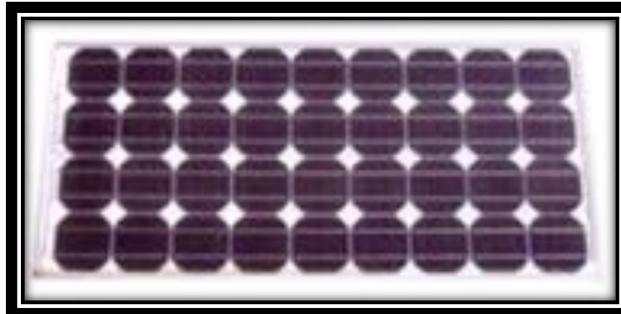
#### 5.2.4.1 TIPOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.

Existe en el mercado fotovoltaico una gran variedad de fabricantes y modelos de módulos solares. Según el tipo de material empleado para su fabricación, se clasifican en:

##### 5.2.4.1.1 MÓDULOS DE SILICIO CRISTALINO.

1. **MÓDULOS DE SILICIO MONOCRISTALINO:** son los más utilizados debido a su gran confiabilidad y duración, aunque su precio es ligeramente mayor que los otros tipos. Constan de obleas circulares o cuadradas con esquinas recortadas y tonalidades de azul oscuro a negro.

FIGURA 5.4 MODULO DE SILICIO MONOCRISTALINO.



Fuente: IIE

2. **MÓDULOS DE SILICIO POLICRISTALINO:** son ligeramente más baratos que los módulos de silicio monocristalino, aunque su eficiencia es menor. Poseen celdas cuadradas con apariencia moteada en azul; este aspecto se debe a las múltiples orientaciones de los granos de cristal.

FIGURA 5.5 MÓDULO DE SILICIO POLICRISTALINO.



Fuente: IIE



**5.2.4.1.2 MÓDULOS DE PELÍCULA DELGADA.**

La tecnología FV de película delgada consiste en celdas depositadas en sustratos rígidos de metal o vidrio, o en láminas ligeras y flexibles de plástico vidriado. El material activo incluye compuestos como silicio amorfo, telururo de cadmio o diseleniuro de cobre, indio y galio.

1. **MÓDULOS DE SILICIO AMORFO Y TELURURO DE CADMIO:** tienen menor eficiencia que los 2 anteriores, pero un precio mucho menor. Además son delgados y ligeros, hechos en forma flexible, por lo que se pueden instalar como parte integral de un techo o pared.

**FIGURA 5.6 MÓDULOS DE PELÍCULA DELGADA.**



Fuente: IIE

TABLA 5.1 ATRIBUTOS DE TECNOLOGÍAS FV.		
ATRIBUTOS DE TECNOLOGÍAS FV	SILICIO POLICRISTALINO	PELICULA DELGADA
Mayor eficiencia	X	
Mayor capacidad de generación para áreas iguales	X	
Menor requerimiento de área de arreglo	X	
Mayor producción eléctrica al año por kW instalado		X
Mayor confiabilidad y estabilidad	X	
Mejor desempeño en clima cálido y con nublados		X
Mejor desempeño en clima frío	X	
Menor afectación del desempeño por sombreados		X
Mayor versatilidad de integración arquitectónica		X

Fuente: IIE

**5.2.5 POTENCIA.**

La capacidad energética nominal de los módulos fotovoltaicos se indica en watts-pico (Wp), lo cual indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación.

La capacidad real de un módulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas. Por ejemplo, un módulo de 55 Wp es capaz de producir 55 W más o menos un 10 % de tolerancia cuando recibe una radiación solar de 1000 watts por metro cuadrado ( $W/m^2$ ) y sus celdas poseen una temperatura de 25 °C. En condiciones reales, este mismo módulo produciría una potencia mucho menor que 55 W.

Los módulos FV para sistemas interconectados con la red están disponibles en capacidades de 100 a 300 Wp nominales. Esta potencia corresponde a condiciones estándar de prueba: radiación solar de  $1000 W/m^2$ , temperatura de módulo de 25°C y sin viento. En el mercado, se pueden encontrar módulos fotovoltaicos de baja potencia, desde 5 Wp; de potencia media, por ejemplo 55 Wp; y de alta potencia, hasta 160 Wp. En aplicaciones de electrificación rural suelen utilizarse paneles fotovoltaicos con capacidades comprendidas entre los 50 y 100 Wp.

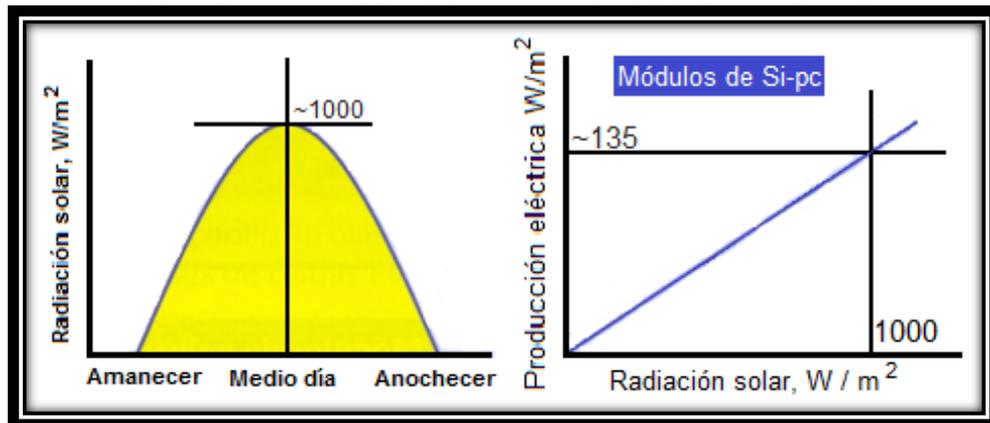
Los voltajes nominales de módulos y arreglos en sistemas autónomos pueden ser de 12, 24 o 48 V, convenientes para acoplarse a bancos de baterías. Sin embargo, en sistemas interconectados con la red se configuran voltajes más elevados, típicamente de 90 a 600 V. Es importante mencionar que durante un día soleado típico, el voltaje que se produce es muy estable.



Por el contrario, la corriente que durante el día genera un módulo no es constante, ya que depende directamente del nivel de radiación solar. Es por ello que en las mañanas y las tardes la producción eléctrica es baja y al mediodía es alta (cercana o incluso mayor a la potencia nominal).

Un sistema FV entrega electricidad de forma intermitente, de acuerdo al perfil diario que exhibe la energía solar incidente en el arreglo de módulos. Sin embargo, al interconectarse con la red, se logra que ésta actúe como una gran batería de respaldo, y que el servicio eléctrico sea constante.

**FIGURA 5.7 RADIACIÓN SOLAR Y PRODUCCIÓN ELÉCTRICA.**



Fuente: IIE

La vida útil de un panel fotovoltaico puede llegar hasta 30 años, y los fabricantes generalmente otorgan garantías de 20 o más años. El mantenimiento del panel solamente consiste de una limpieza del vidrio para prevenir que las celdas fotovoltaicas no puedan capturar la radiación solar.

La elección apropiada del tipo y capacidad del módulo fotovoltaico depende de las características propias de la instalación fotovoltaica, tales como radiación solar existente y consumo energético requerido.

### 5.2.6 BATERÍAS

Debido a que la radiación solar es un recurso variable, en parte previsible (ciclo día-noche), en parte imprevisible (nubes, tormentas); se necesitan equipos apropiados para almacenar la energía eléctrica cuando existe radiación y para utilizarla cuando se necesite. El almacenamiento de la energía eléctrica producida por los módulos fotovoltaicos se hace a través de las baterías. Estas baterías son construidas especialmente para sistemas fotovoltaicos.

Las baterías fotovoltaicas son un componente muy importante de todo el sistema pues realizan tres funciones esenciales para el buen funcionamiento de la instalación:

- Almacenan energía eléctrica en periodos de abundante radiación solar y/o bajo consumo de energía eléctrica. Durante el día los módulos solares producen más energía de la que realmente se consume en ese momento. Esta energía que no se utiliza es almacenada en la batería.
- Proveen la energía eléctrica necesaria en periodos de baja o nula radiación solar. Normalmente en aplicaciones de electrificación rural, la energía eléctrica se utiliza intensamente durante la noche para hacer funcionar tanto lámparas o bombillas así como un televisor o radio, precisamente cuando la radiación solar es nula. Estos aparatos pueden funcionar correctamente gracias a la energía eléctrica que la batería ha almacenado durante el día.
- Proveen un suministro de energía eléctrica estable y adecuada para la utilización de aparatos eléctricos. La batería provee energía eléctrica a un voltaje relativamente constante y permite, además, operar aparatos eléctricos que requieran de una corriente mayor que la que pueden



- producir los paneles (aún en los momentos de mayor radiación solar). Por ejemplo, durante el encendido de un televisor o durante el arranque de una bomba o motor eléctrico.

### 5.2.6.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS BATERÍAS.

La Figura 5.8 muestra una batería típica para aplicaciones fotovoltaicas. En su apariencia externa este tipo de baterías no difiere mucho de las utilizadas en automóviles. Sin embargo, internamente las baterías para aplicaciones fotovoltaicas están construidas especialmente para trabajar con ciclos de carga/descarga lentos.

Las baterías para sistemas fotovoltaicos generalmente son de ciclo profundo, lo cual significa que pueden descargar una cantidad significativa de la energía cargada antes de que requieran recargarse. En comparación, las baterías de automóviles están construidas especialmente para soportar descargas breves pero superficiales durante el momento de arranque; en cambio, las baterías fotovoltaicas están construidas especialmente para proveer durante muchas horas corrientes eléctricas moderadas. Así, mientras una batería de automóvil puede abastecer sin ningún problema 100 amperios durante 2 segundos, una batería fotovoltaica de ciclo profundo puede abastecer 2 amperios durante 100 horas.

**FIGURA 5.8 BATERÍA PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.**



Fuente: IIE

Aunque el costo inicial es más bajo, no es recomendable utilizar baterías de automóviles en sistemas fotovoltaicos dado que no han sido construidas para estos fines. Las consecuencias más graves del empleo de batería de automóviles son:

- a) La vida útil de este tipo de baterías se acorta considerablemente.
- b) Los procesos de carga/descarga se hacen ineficientemente.

Así, el ahorro en costos que puede tener comprar baterías de automóviles (en lugar de baterías fotovoltaicas) se pierde ante la necesidad de reemplazarlas frecuentemente.

La capacidad de la batería se mide en "amperio-hora (Ah)", una medida comparativa de la capacidad de una batería para producir corriente. Dado que la cantidad de energía que una batería puede entregar depende de la razón de descarga de la misma, los Ah deben ser especificados para una tasa de descarga en particular. La capacidad de las baterías fotovoltaicas en Ah se especifica frecuentemente a una tasa de descarga de 100 horas (C-100).

La capacidad de la batería para un sistema fotovoltaico determinado se establece dependiendo de cuanta energía se consume diariamente, de la cantidad de días nublados que hay en la zona y de las características propias de la batería por utilizar. Además, se recomienda usar, cuando sea posible, una sola batería con la capacidad necesaria. El arreglo de dos o más baterías en paralelo presenta dificultades de desbalance en los procesos de carga/descarga. Estos problemas ocasionan algunas veces la inversión de polaridad de las placas y, por consiguiente, la pérdida de capacidad de todo el conjunto de baterías. También se recomienda colocarlas en una habitación bien ventilada y aislada de la humedad del suelo. Durante el proceso de carga se produce gas hidrógeno en concentraciones



no tóxicas, siempre y cuando el local disponga de orificios de ventilación ubicados en la parte superior de la habitación.

Después que las baterías hayan alcanzado su vida útil, deberán ser retiradas y llevadas a centros de reciclaje autorizados (en el caso de algunos proveedores con la venta de la batería se responsabilizan también del retiro y reciclaje). Por ningún motivo deben desecharse en campos abiertos o basureros, pues el derrame de la solución de ácido sulfúrico que contienen ocasiona graves daños al suelo, personas y animales. Finalmente, es importante mantener alejados a los niños de las baterías para evitar cortocircuitos o quemaduras de ácido accidentales.

Al igual de lo que sucede con los módulos fotovoltaicos, se recomienda la ayuda de un conocedor del tema para que sugiera el tipo de batería que más conviene a una instalación fotovoltaica particular. En términos generales, se debe adquirir baterías fotovoltaicas de calidad, que cumplan al menos las especificaciones mínimas.

### 5.2.6.2 MANTENIMIENTO Y VIDA ÚTIL.

Diferentes tipos y modelos de baterías requieren diferentes medidas de mantenimiento. Algunas requieren la adición de agua destilada o electrolito, mientras que otras, llamadas 'baterías libre de mantenimiento', no lo necesitan.

Generalmente, la vida útil de una batería de ciclo profundo es entre 3 y 5 años, pero esto depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que fue sometida. La vida útil de una batería llega a su fin cuando esta "muere súbitamente" debido a un cortocircuito entre placas o bien cuando ésta pierde su capacidad de almacenar energía debido a la pérdida de material activo de las placas.

Las baterías para aplicaciones fotovoltaicas son elementos bastante sensibles a la forma como se realizan los procesos de carga y descarga. Si se carga una batería más de lo necesario, o si se descarga más de lo debido, ésta se daña. Normalmente, procesos excesivos de carga o descarga tienen como consecuencia que la vida útil de la batería se acorte considerablemente.

Debido a que el buen estado de la batería es fundamental para el funcionamiento correcto de todo el sistema y a que el costo de la batería puede representar hasta un 15-30 % del costo total, es necesario disponer de un elemento adicional que proteja la batería de procesos inadecuados de carga y descarga, conocido como regulador o controlador de carga.

### 5.2.7 EL REGULADOR O CONTROLADOR DE CARGA.

Este es un dispositivo electrónico, que controla tanto el flujo de la corriente de carga proveniente de los módulos hacia la batería, como el flujo de la corriente de descarga que va desde la batería hacia las lámparas y demás aparatos que utilizan electricidad. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta y si ella ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia las lámparas y demás cargas.

**FIGURA 5.9 TÍPICO REGULADOR DE CARGA FOTOVOLTAICO CON SUS RESPECTIVOS BORNES DE CONEXIÓN PARA EL MÓDULO, PARA LA BATERÍA Y PARA LAS CARGAS.**



Fuente: IIE



Existen diversas marcas y tipos de reguladores. Es aconsejable adquirir siempre un regulador de carga de buena calidad y apropiado a las características de funcionamiento (actuales y futuras) de la instalación fotovoltaica. También, se recomienda adquirir controladores tipo serie con desconexión automática por bajo voltaje (LVD) y con indicadores luminosos del estado de carga. Estas opciones permiten la desconexión automática de la batería cuando el nivel de carga de ésta ha descendido a valores peligrosos.

Generalmente, el regulador de carga es uno de los elementos más confiables de todo sistema fotovoltaico, siempre y cuando se dimensione e instale correctamente.

### 5.2.8 EL INVERSOR.

Proveer adecuadamente energía eléctrica no sólo significa hacerlo en forma eficiente y segura para la instalación y las personas; sino que, también significa proveer energía en la cantidad, calidad y tipo que se necesita.

El tipo de la energía se refiere principalmente al comportamiento temporal de los valores de voltaje y corriente con los que se suministra esa energía. Algunos aparatos eléctricos, como lámparas, radios y televisores funcionan a 12 voltios (V) de corriente directa, y por lo tanto pueden ser energizados a través de una batería cuyo voltaje se mantiene relativamente constante alrededor de 12 V.

Por otra parte, hay lámparas, radios y televisores que necesitan 120 V ó 110 V de corriente alterna para funcionar. Estos aparatos eléctricos se pueden adquirir en cualquier comercio pues 120 ó 110 son los voltajes con el que operan el 95% de los electrodomésticos en México, en los sistemas conectados a la red pública convencional. El voltaje en el tomacorriente, el cual tiene corriente alterna, fluctúa periódicamente a una razón de 60 ciclos por segundo, pero su valor efectivo es equivalente a 120 V.

Los módulos fotovoltaicos proveen corriente directa a 12 ó 24 Voltios por lo que se requiere de un componente adicional, el inversor, que transforme, a través de dispositivos electrónicos, la corriente directa a 12 V de la batería en corriente alterna a 120 V.

Existe una amplia variedad de inversores para aplicaciones domésticas y usos productivos en sitios aislados, tanto en calidad como en capacidad. Con ellos, se pueden utilizar lámparas, radios, televisores pequeños, teléfonos celulares, computadoras portátiles, y otros.

### 5.2.9 OTROS ELEMENTOS EN LAS APLICACIONES.

Finalmente, un sistema fotovoltaico incluye las cargas o aparatos eléctricos que se van a utilizar y que consumen la corriente generada o almacenada. Los ejemplos más comunes son lámparas, radios, televisores y teléfonos celulares para uso doméstico; y bombas y motores, para usos productivos.

La selección de estas cargas es tan importante como la del resto de equipos fotovoltaicos; por ello, hay dos aspectos por considerar cuando se utilizan aparatos que se energizarán a través de un sistema fotovoltaico:

- a) El consumo diario de energía del conjunto de aparatos eléctricos no debe sobrepasar la cantidad de energía diaria producida por el sistema fotovoltaico. Es importante recordar que la disponibilidad diaria de energía eléctrica de los sistemas fotovoltaicos es variable pues depende de la radiación solar disponible, del estado de carga de la batería y de la capacidad de los equipos fotovoltaicos instalados, especialmente de la capacidad total de los módulos fotovoltaicos. Por lo tanto, la energía disponible es limitada y hay que utilizar racionalmente los aparatos según ésta. Es recomendable hacer uso, en la medida de lo posible, de aparatos modernos de bajo consumo energético y alta eficiencia. Por ejemplo, se descarta el uso de bombillos incandescentes, planchas eléctricas y hornos eléctricos.
- b) La necesidad de utilizar aparatos a 120 V determina la instalación o no de un inversor: Es importante tener en cuenta el tipo de energía que necesitan los aparatos eléctricos que se van a utilizar con el fin de determinar si se necesita o no un inversor. En la decisión hay que



tomar en cuenta que el inversor implica un costo adicional del sistema, y que en el mercado se ofrecen varios aparatos electrodomésticos que funcionan a 12 V, por ejemplo: radios de vehículos, lámparas fluorescentes, etc.

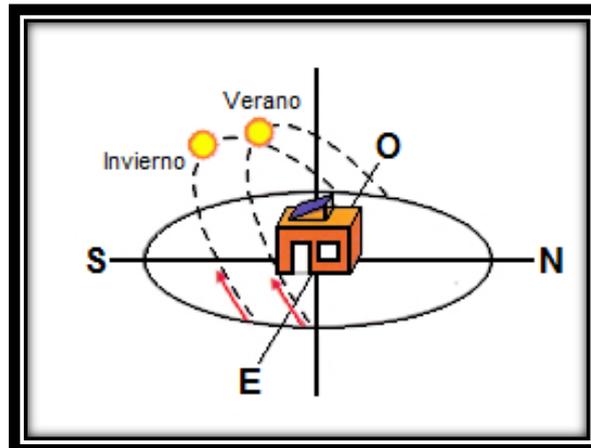
La suma instantánea de las potencias individuales de cada uno de los aparatos por emplear no debe ser mayor que la capacidad máxima en watts (W) del inversor. Se recomienda utilizar inversores construidos especialmente para aplicaciones fotovoltaicas y sobredimensionar la capacidad de éstos en un 20-30% para prevenir expansiones futuras en la instalación. Por ejemplo, si se tiene un inversor de 300 W de potencia nominal es posible utilizar simultáneamente un máximo de 20 lámparas de 15 W cada una, o emplear simultáneamente un televisor de 75 W más 15 lámparas de 15 W, o cualquier combinación de aparatos cuya suma de potencias instantáneas sea igual o menor que 300 W.

La utilización de un inversor no imposibilita el uso de aparatos a 12 V de corriente directa. Por lo tanto, una instalación fotovoltaica que disponga de un inversor puede proveer energía tanto a cargas de 12 V como a cargas de 120 V.

**5.3 SITIO E INSTALACIÓN.**

El territorio mexicano se encuentra en el hemisferio norte. En esta región, la trayectoria aparente del sol durante la mayor parte del año, desde el amanecer hasta el atardecer, se observa hacia el sur.

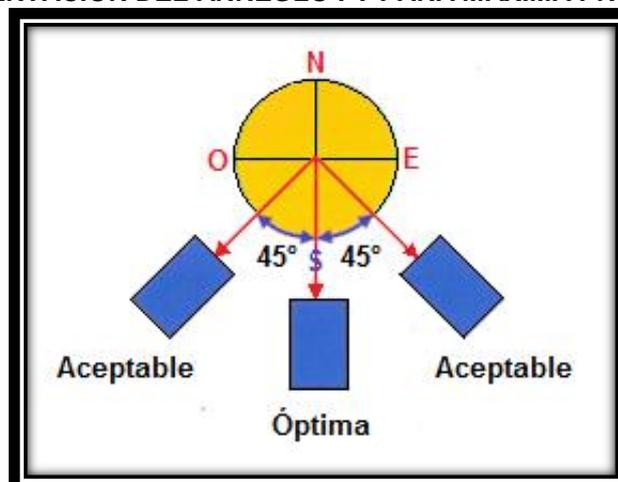
**FIGURA 5.10 TRAYECTORIA APARENTE DEL SOL EN EL TERRITORIO MEXICANO.**



Fuente: IIE

La latitud del sitio define la orientación e inclinación que deberá poseer un arreglo FV.

**FIGURA 5.11 ORIENTACIÓN DEL ARREGLO FV PARA MÁXIMA PRODUCCIÓN ANUAL.**



Fuente: IIE



En México es muy común que las viviendas posean techos horizontales. Los techos horizontales son convenientes para la instalación de un arreglo FV, ya que el montaje puede realizarse en estructuras con condiciones óptimas de orientación e inclinación.

**FIGURA 5.12 TECHO HORIZONTAL CON PANELES FOTOVOLTAICOS.**



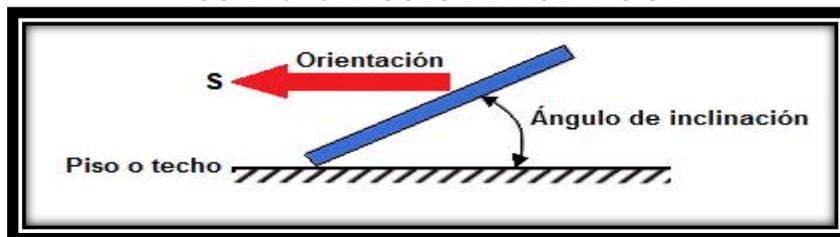
Fuente: IIE

La orientación e inclinación son aspectos determinantes en los arreglos FV para su producción eléctrica. Si se establece una orientación hacia el sur geográfico y un ángulo de inclinación igual al ángulo de latitud, se maximiza la producción en términos anuales. En el norte del país donde la demanda eléctrica es mayor durante el verano, se recomienda una inclinación igual al ángulo de latitud menos 15°, y dependiendo del caso, se puede optar por una orientación sur-oeste para incrementar la generación por las tardes, justo cuando suele ocurrir el pico de demanda.

TABLA 5.2 ÁNGULO DE INCLINACIÓN.	
ÁNGULO DE INCLINACIÓN	RESULTADOS
Latitud	Máxima generación eléctrica anualizada y durante la primavera y el otoño.
Latitud -15°	Máxima generación eléctrica en el verano.
Latitud +15°	Máxima generación eléctrica en el invierno.

Fuente: IIE

**FIGURA 5.13 ÁNGULO DE INCLINACIÓN.**



Fuente: IIE

En caso de que los techos ya posean cierta inclinación, su orientación deberá ser preferentemente hacia el sur geográfico y en ningún caso al norte. Si el montaje es horizontal, la ganancia energética es menor, pero puede ser aceptable, estimándose una reducción en la producción de menos del 10%.

Cuando el techo no resulta apropiado y existe terreno disponible, el arreglo FV puede montarse en la tierra. También existen modalidades con integración arquitectónica en techos y fachadas, así como montajes en cobertizos y toldos.

**5.3.1 SOMBREADOS.**

El sitio que se elija para el montaje del arreglo FV, ya sea sobre techos o en tierra, debe estar libre de sombreados por obstrucciones o árboles durante todo el día, o al menos, en su mayor parte. Es importante resaltar que aunque el área donde se instale el arreglo FV se encuentre libre de sombras a una cierta hora del día, en otro momento sí podría verse afectada. También, debe observarse la proyección de sombras en el invierno es mayor que en el verano. El problema con los sombreados es que, sombras recurrentes e inclusive ocasionales, reducen sustancialmente la producción eléctrica de



los módulos FV. El usuario puede hacer una somera observación para determinar si un sitio es elegible. Sin embargo, éste es un trabajo detallado que corresponde al proveedor del sistema, quien finalmente determinará si habrá o no afectación por sombreados.

**5.3.2 REQUERIMIENTOS DE ESPACIO.**

En la siguiente tabla se presenta una estimación del área requerida para el montaje del arreglo FV, considerando varias tecnologías y capacidades.

TABLA 5.3 ÁREA REQUERIDA DEL ARREGLO FV CON DIVERSAS TECNOLOGÍAS Y CAPACIDADES, m <sup>2</sup> (VALOR APROXIMADO)									
Tecnología de módulo	Eficiencia	m <sup>2</sup> /kWp	0.5kWp	1kWp	2kWp	3kWp	5kWp	10kWp	30kWp
Silicio policristalino (Si-pc) o multicristalino (Si-mc)	13 – 15%	~ 8	4	8	16	24	40	80	240
Silicio monocristalino (Si-sc)	14 – 20%	~ 7	4	7	14	21	35	70	210
Silicio amorfo (Si-a)	5 – 7%	~ 16	8	16	32	48	80	160	480
Telururo de cadmio (CdTe)	9 – 11%	~ 11	6	11	22	33	55	110	330
Di-seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS)	10 – 12%	~ 10	5	10	20	30	50	100	300

Fuente: IIE

Si el área disponible para la ubicación del arreglo es limitada, se puede elegir módulos de alta eficiencia, aunque esto implicaría una inversión mayor. Alternativamente, si se dispone de una superficie amplia se podría elegir el uso de módulos de menor eficiencia y costo, sin embargo, al ser mayor su requerimiento de área, el costo de la estructura podría ser alto. En lo que respecta al inversor y demás equipo, se requiere de poco espacio para su montaje, regularmente en muro cubierto.

**5.4 APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.**

En general, los sistemas fotovoltaicos pueden tener las mismas aplicaciones que cualquier sistema generador de electricidad. Sin embargo, las cantidades de potencia y energía que se pueden obtener de un sistema fotovoltaico están limitadas por la capacidad de generación y almacenamiento de los equipos instalados, especialmente de los módulos y la batería respectivamente, y por la disponibilidad del recurso solar. Técnicamente, un sistema fotovoltaico puede producir tanta energía como se desee; sin embargo desde el punto de vista económico, siempre existen limitaciones presupuestarias en cuanto a la capacidad que se puede instalar.

Dependiendo de su aplicación y de la cantidad y tipo de energía producida, los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Lámparas portátiles.
- Sistemas individuales de Corriente Directa (CD) para aplicaciones domésticas.
- Sistemas individuales de Corriente Alterna (CA) para aplicaciones domésticas.
- Sistemas centralizados aislados de la red.
- Sistemas centralizados conectados a la red.

A continuación se describirá brevemente las características más importantes de estos sistemas.

**5.4.1 SISTEMAS INDIVIDUALES CD PARA APLICACIONES DOMÉSTICAS.**

La aplicación más frecuente y generalizada de la energía solar fotovoltaica es la electrificación rural de viviendas a través de sistemas individuales CD. Estos sistemas están compuestos, normalmente,



por un panel fotovoltaico con una capacidad menor que 100 Wp, un regulador de carga electrónico a 12 V, una o dos baterías con una capacidad total menor que 150 A-h, 2 ó 3 lámparas a 12 V y un tomacorriente para la utilización de aparatos eléctricos de bajo consumo energético diseñados especialmente para trabajar a 12 V CD.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

- a) **El voltaje nominal es 12 V de corriente directa:** Esto implica que solamente se puede usar lámparas y aparatos que trabajen a 12 V. Es importante mencionar que, aunque existe una gran variedad de lámparas y electrodomésticos que trabajan a 12 V, en América Latina puede ser difícil adquirir este tipo de aparatos en el comercio local, particularmente las lámparas. Normalmente, es necesario contactar a distribuidores de equipos fotovoltaicos para comprarlas y esto representa inconvenientes en tiempos de entrega (pues se deben importar) y de costos más altos (pues son de fabricación especial).
- b) **El costo comparativo de este tipo de sistema es más accesible para los presupuestos familiares:** Esto debido a que se utiliza exclusivamente para satisfacer necesidades básicas de electrificación (luz, radio y TV), los equipos son de baja capacidad; debido a que el sistema trabaja a 12 V, no se necesita usar un inversor. Por estas razones, el costo inicial del sistema es comparativamente menor y muy atractivo para soluciones básicas de electrificación rural fotovoltaica.

#### 5.4.2 SISTEMAS INDIVIDUALES CA PARA APLICACIONES DOMÉSTICAS.

Los sistemas individuales CA se pueden considerar como una ampliación de los equipos y capacidades de un sistema individual CD. La diferencia fundamental que existe entre ambos sistemas es que el primero dispone de un inversor electrónico para transformar la tensión de 12 V de corriente directa a 120 V de corriente alterna. En cuanto al resto de componentes, ambos sistemas son idénticos.

Los aparatos o cargas que con mayor frecuencia se utilizan con sistemas CA son lámparas fluorescentes de alta eficiencia y bajo consumo, equipos de audio (radios, radiograbadoras y equipos de alta fidelidad), teléfonos celulares, equipos de vídeo (televisores y videograbadoras), computadoras y bombas de agua.

Los sistemas fotovoltaicos CA tienen mayor capacidad de producción de energía (paneles fotovoltaicos de mayor capacidad) y mayor capacidad de almacenamiento (batería de mayor capacidad) que los sistemas fotovoltaicos CD. La experiencia dice que para necesidades de electrificación mínimas – por ejemplo 2 lámparas, 1 radio y 1 TV (blanco y negro -B/N-) un sistema fotovoltaico CD es la solución económica y técnicamente más adecuada y accesible; sin embargo, si las necesidades de electrificación comprenden el uso de más de 2 lámparas, radio-caseteras de mediana potencia, televisores a color, bombas de agua u otro tipo de electrodoméstico, entonces, sería mejor instalar un sistema fotovoltaico CA.

Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

- **El sistema puede proveer energía tanto a 120 V de corriente alterna como a 12 V de corriente directa:** La consecuencia más importante de esto es que se pueden utilizar lámparas y electrodomésticos a 120 V, los cuales son más comunes, más baratos y más fáciles de adquirir que los aparatos a 12 V; o, se puede utilizar directa y simultáneamente aparatos que naturalmente ya funcionan a 12 V, por ejemplo radios para automóviles, televisores B/N portátiles, etc. Esta flexibilidad en el uso de aparatos CA y CD es una de las cualidades más importantes de los sistemas individuales CA.
- **El costo del sistema es relativamente más alto:** Es lógico que al agregar un componente más (el inversor) al sistema básico CD, los costos iniciales se incrementan. Sin embargo, es importante considerar que el costo de las lámparas y de todos los equipos que funcionan a 120 V es considerablemente menor que el de las lámparas y los equipos que funcionan a 12 V. Por otra parte, actualmente es más fácil adquirir o reemplazar equipos de 120 V en el



comercio local que reemplazar equipo de 12 V. Por lo tanto, si bien existe un incremento de costos por el uso del inversor, también existe un ahorro de tiempo y dinero.

#### 5.4.3 SISTEMAS AISLADOS PARA USOS PRODUCTIVOS.

Además de la aplicación de electrificación de las viviendas rurales, se puede aplicar la energía solar fotovoltaica para usos productivos y comerciales, sobre todo en la agricultura. Ejemplos de este uso son:

- **Bombeo de agua para irrigación y cercas eléctricas para ganadería:** Este permite aumentar la productividad del área cultivable y diversificar el cultivo.
- **Refrigeración de alimentos:** Incrementa la calidad del producto y permite mayores márgenes de tiempo entre cosecha y entrega en el mercado.
- **Comunicación:** Facilita la venta en mercados alejados y el acceso a información de precios en el mercado.
- **Iluminación:** Permite el procesamiento de cultivos y productos en horas de la noche y en áreas cubiertas.

La capacidad y configuración de un sistema para usos productivos depende de la aplicación. Por ejemplo, los sistemas de bombeo de agua generalmente no requieren de baterías, mientras que aplicaciones que exigen una disponibilidad de energía continua, como la refrigeración, sí la necesitan.

#### 5.4.4 SISTEMAS CENTRALIZADOS AISLADOS DE LA RED.

Los sistemas fotovoltaicos son una opción válida para la electrificación rural cuando:

- No existe la posibilidad técnica o económica de llevar la red eléctrica convencional hasta cada una de las viviendas.
- Las familias demandan cantidades moderadas de energía.

Si las viviendas por electrificar se encuentran ubicadas en forma dispersa, los sistemas fotovoltaicos individuales son la mejor alternativa, sino la única, debido a su autonomía y modularidad. Sin embargo, si las casas por electrificar se encuentran ubicadas relativamente próximas entre sí, la opción más apropiada puede ser un sistema fotovoltaico centralizado debido a que la concentración de equipos y energía ofrece ventajas desde los puntos de vista técnico y económico.

Un sistema centralizado es un sistema fotovoltaico capaz de satisfacer la demanda energética de una comunidad con electricidad que se produce, almacena y transforma en un sistema fotovoltaico central y que luego se distribuye, a través de líneas eléctricas, hasta cada una de las viviendas.

Los sistemas centralizados tienen la misma estructura que un sistema fotovoltaico individual con suministro CA. La diferencia fundamental radica en que los sistemas centralizados son capaces de proveer energía en cantidades y en calidades muy superiores que la energía producida por un sistema fotovoltaico individual. Sin embargo, las características fundamentales de los sistemas centralizados son la concentración de equipos y la distribución de electricidad; no siendo así la cantidad de energía que estos sistemas producen.

Las cargas que se utilizan son lámparas fluorescentes de alta eficiencia, equipos de audio (radios, equipos de sonido de alta fidelidad), equipos de video (televisores de color, salas comunales de cine), equipos de computación, equipos de bombeo de agua potable, congeladores para fábricas de hielo, lámparas para iluminación pública y otros. Las características más sobresalientes de este tipo de sistemas son:

- a) **Mejor calidad en el suministro de energía eléctrica:** Los sistemas centralizados proveen energía de gran calidad gracias a la utilización de inversores de mayor calidad. Por lo tanto, los usuarios pueden utilizar en sus hogares aparatos eléctricos o electrónicos que requieran un suministro de energía estable y seguro.



- b) **Mayor robustez del sistema:** Los equipos utilizados en los sistemas centralizados son contruidos especialmente para resistir incrementos breves, pero intensos, de demanda de energía eléctrica. Además, la utilización de cargas altamente inductivas (por ejemplo, motores) no representa ningún problema. También, estos sistemas poseen protecciones contra descargas atmosféricas, contra abuso de la capacidad de los sistemas, alarmas contra sobredescarga, protecciones contra cortocircuitos, etc.
- d) **Menor costo de la energía:** La cualidad más importante de los sistemas fotovoltaicos centralizados, e interesante desde el punto de vista económico, es que permiten obtener energía a un costo más bajo que el de aquella que se obtiene con sistemas individuales. La disminución de los costos de producción de energía depende de la cantidad de viviendas y de cuan dispersas se encuentren éstas. Cuanto mayor sea el número de viviendas y menor la distancia entre ellas, menor será el costo de la energía.
- e) **Menor impacto ambiental:** Otra ventaja de los sistemas centralizados es su bajo impacto ambiental. No existe la posibilidad de la contaminación producida por el abandono de baterías usadas con poca capacidad dado que la energía se acumula en un banco central de baterías de larga vida útil.
- f) **Distribución centralizada:** La desventaja más importante de los sistemas centralizados es la distribución equitativa de la energía entre la comunidad. La distribución centralizada requiere de la instalación de medidores de energía en cada vivienda. Esto normalmente no se hace debido al considerable incremento de costos que implica. Por lo tanto, siempre existirían problemas ocasionados por algunos usuarios que abusan de la disponibilidad de energía del sistema y de la falta de información que permita cobrar a cada familia, según su consumo energético.

#### 5.4.5 SISTEMAS CENTRALIZADOS CONECTADOS A LA RED.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son una alternativa prometedora en el futuro de las energías renovables. En estos sistemas, la energía obtenida no se almacena sino que se provee directamente a la red eléctrica comercial. Esto implica por una parte que el banco de baterías ya no es necesario y, por otra, que se necesita de un equipo especial para adaptar la energía producida por los paneles a la energía de la red. Este tipo de sistemas provee energía eléctrica a núcleos urbanos que ya cuentan con una red de distribución de energía. Las aplicaciones inmediatas son la venta de energía eléctrica o la reducción de la facturación mensual. Esta es una posibilidad muy interesante para inversiones privadas en el sector de energía limpia.

El uso de esta tecnología es reciente, pero existen experiencias interesantes en España y Alemania que permiten suponer un desarrollo rápido de estos sistemas. Parece ser que la tecnología ha alcanzado un nivel de madurez aceptable; sin embargo, aún falta mucho por hacer en cuanto a la legislación que permita la venta de energía fotovoltaica de pequeños usuarios privados a empresas distribuidoras de energía convencional.

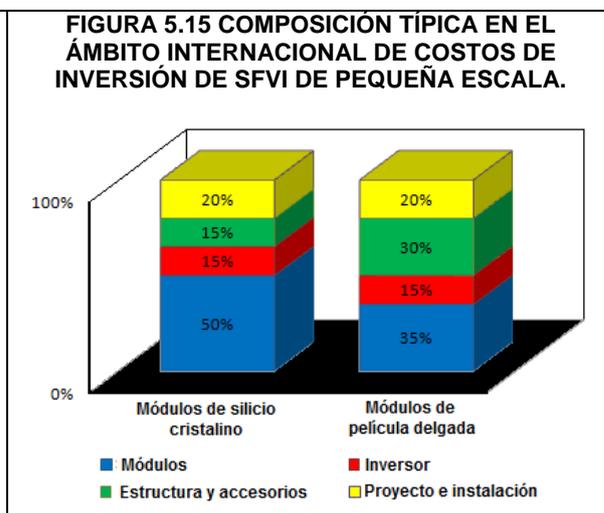
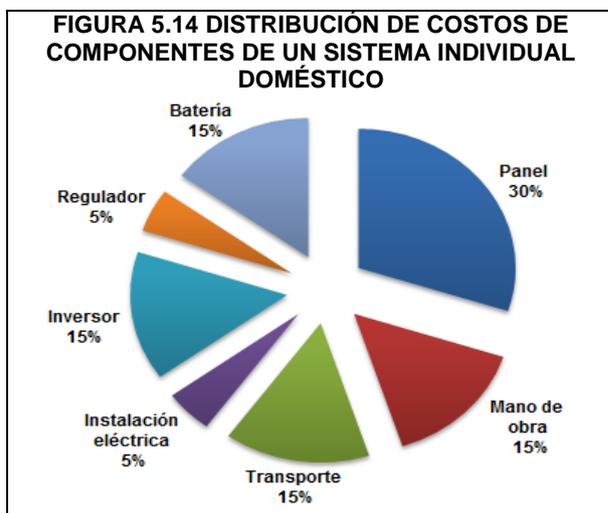
#### 5.5 COSTOS.

La inversión necesaria para adquirir un sistema fotovoltaico depende de varios factores, por ejemplo: los precios internacionales del mercado fotovoltaico, la disponibilidad local de distribuidores e instaladores de equipos fotovoltaicos, la ubicación y demanda energética de los usuarios. Las características particulares de todos los equipos necesarios para satisfacer la demanda energética (en calidad, cantidad y capacidad), la distancia y la facilidad de acceso entre el lugar de venta de los equipos y el lugar donde se instalará el sistema (en cantidad de kilómetros por recorrer en vehículo todo terreno, en vehículo normal, en bestia o caminando), y los márgenes de ganancia de vendedores e instaladores de equipos (generalmente entre el 10-30%), son factores que determinan en gran medida la cantidad de dinero que el usuario final invertirá para electrificar su vivienda.

Para aplicaciones domésticas se estima entre US\$ 800 y US\$ 1000, el cual incluye los equipos, el transporte y la instalación. La calidad y capacidad de los equipos fotovoltaicos y las condiciones de



acceso al lugar donde se instalará el sistema pueden ocasionar un aumento o disminución significativo del costo inicial indicado. De esta cantidad, los montos de mayor relevancia son un 30% correspondiente al módulo fotovoltaico, y un 15 % a la batería, al inversor, al transporte y a la mano de obra respectivamente, tal y como se muestra gráficamente en la Figura 5.14. Sin embargo, la experiencia dice que para viviendas rurales muy alejadas y con vías de acceso deficientes, el costo de transporte suele ascender del 15 al 30% del costo inicial.



Fuente: IIE

Los costos totales de un sistema fotovoltaico pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- Costos de inversión.
- Costos de mantenimiento y operación.
- Costos de reemplazo.
- Costos de energía.

### 5.5.1 COSTOS DE INVERSIÓN.

Son aquellos en los que se debe incurrir inicialmente para la compra, transporte e instalación de los equipos fotovoltaicos. Estos costos pueden representar un 70-75 % del costo del sistema a lo largo de toda su vida útil. La vida útil de un sistema fotovoltaico completo, correctamente instalado y con componentes de buena calidad, se estima entre 15 y 20 años. La vida útil del sistema está determinada por el tiempo que tarda el módulo fotovoltaico en perder el 10% de su capacidad de producción de potencia. Nótese que en este período, se deberá reemplazar la batería 3-4 veces, según las condiciones de trabajo.

En general el costo de inversión de un sistema FV depende de diversos factores, como son:

- La capacidad del sistema.
- La preparación y ejecución del proyecto; lo que incluye diseño, instalación, interconexión y puesta en marcha del sistema.
- Las características tecnológicas y económicas de los componentes, principalmente de los módulos y el inversor. Se debe resaltar que en promedio el costo de los módulos ha venido declinando consistentemente y se espera que en los próximos años esta tendencia continúe.
- Si la casa o edificio al que se integrará el sistema ya existe o será construido.
- Si el sistema se montará sobre el techo o a nivel de piso, o bien, si será un elemento integral de techos y fachadas.

La inversión actual para un SFVI de pequeña escala se estima en US\$ 5000-7000/kWp dependiendo de la tecnología, país de aplicación y proveedor comercial.



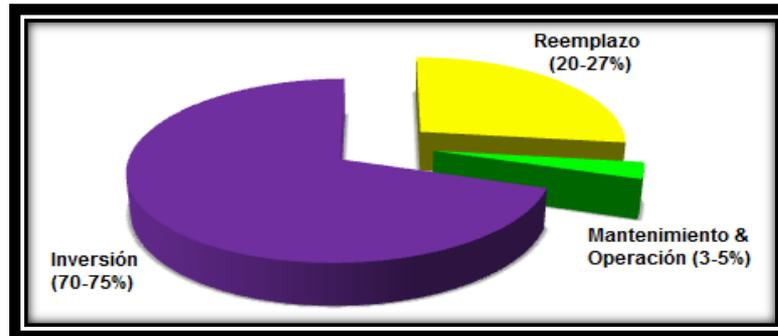
### 5.5.2 COSTOS DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN.

Son aquellos en los que se debe incurrir durante toda la vida útil de los equipos para conservar en buenas condiciones el sistema fotovoltaico. Normalmente, el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos no es más que la limpieza adecuada de los equipos, especialmente de los paneles fotovoltaicos, y el reemplazo oportuno del agua de las baterías; por lo tanto, los costos de mantenimiento son muy bajos y representan un 3-5 % del costo total del sistema a lo largo de toda su vida útil.

### 5.5.3 COSTOS DE REEMPLAZO.

Son aquellos en los que se debe incurrir cuando las baterías llegan al fin de su vida útil. Generalmente, esto sucede después de 3 - 5 años de uso, pero depende en buena medida del mantenimiento y de los ciclos de carga/descarga a los que fue sometida la batería. Estos costos representan 20 - 27 % de los costos totales del sistema a lo largo de toda su vida útil. Estos costos totales se muestran en la Figura 5.16.

**FIGURA 5.16 DISTRIBUCIÓN DE COSTOS DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO.**



Fuente: IIE

### 5.5.4 COSTO DE ENERGÍA.

Se refiere al costo por cada kilowatt-hora de electricidad producida por el sistema FV. En el ámbito técnico se denomina costo nivelado de energía y se puede comparar directamente contra el precio de electricidad de la red. En su determinación intervienen los siguientes factores:

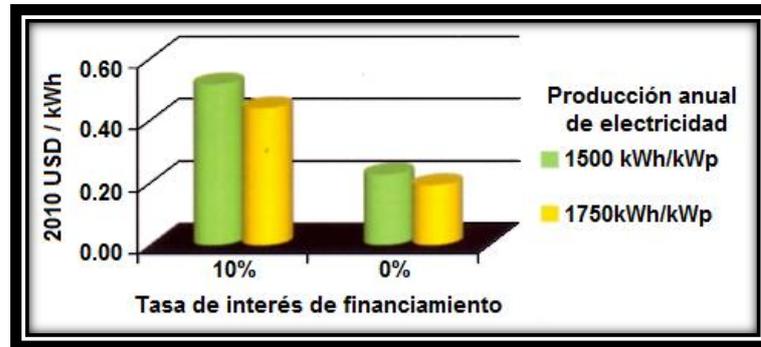
- El monto de la inversión.
- La eficiencia con la cual se estará efectuando la conversión de energía, de solar a eléctrica.
- La localidad donde se instalará el sistema. Éste es un aspecto muy importante ya que del sitio específico depende la disponibilidad de energía solar aprovechable.
- La afectación por sombreados.
- La vida útil del sistema.

A continuación se presentan graficas del costo de energía. En primera instancia se muestra el costo nivelado FV con dos condiciones de financiamiento y a diferentes niveles de producción. La segunda gráfica muestra proyecciones a largo plazo del costo de energía FV y del precio de electricidad de red.

El costo de energía, o técnicamente, costo nivelado de energía, es un concepto económico que se presenta en pesos o dólares por kWh e incluye todos los costos en la vida del proyecto: inversión inicial, costo de capital, operación, mantenimiento y retiro.



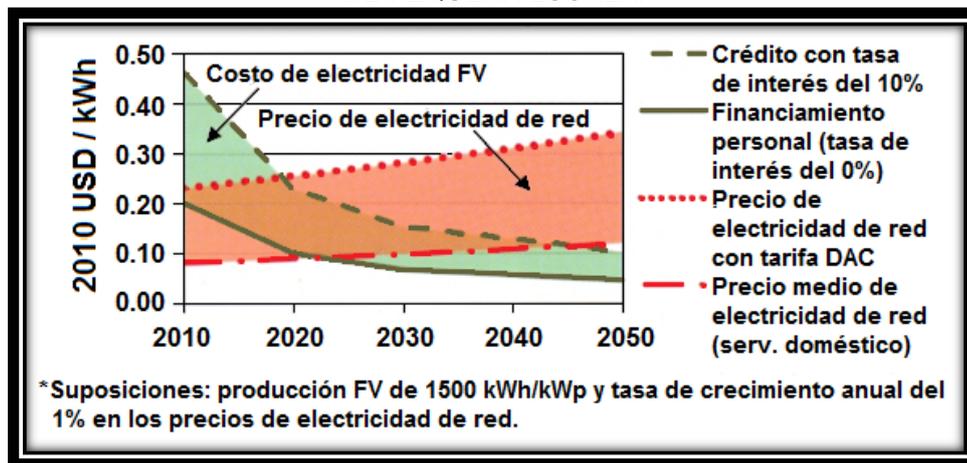
**GRÁFICA 5 COSTO NIVELADO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA POR SISTEMAS FV INTERCONECTADOS DE PEQUEÑA ESCALA.**



Fuente: IIE

El costo de energía FV se irá reduciendo significativamente. Se espera que para 2030 este costo sea del orden de 1/3 del costo en 2010.

**GRÁFICA 5.1 PROYECCIÓN DEL COSTO DE ENERGÍA DE SISTEMAS FV INTERCONECTADOS DE PEQUEÑA ESCALA.**



Fuente: IIE

El precio de la electricidad de red aumenta en función del crecimiento de la inflación y del costo de los combustibles.

A continuación se presenta información técnica relativa a los sistemas fotovoltaicos más utilizados.

TABLA 5.4 INFORMACIÓN TÉCNICA RELATIVA DE SFV			
Tipo de sistema	Capacidad	Rango de costos** (US\$)	Usos típicos
Individual CD	50-100 W	600-2000	-Iluminación interna -Radio -TV b/n
Individual CA	75-500 W	1030-5000	-Iluminación interna y externa -Equipos de sonido -Equipos de video -Bombas de agua -Teléfonos celulares
Centralizados aislados	0.3-10 kW	3560-50,000	-Iluminación interna y externa -Equipos de sonido -Equipos de video -Bombas de agua -Teléfonos celulares -Máquinas y herramientas -Equipos de refrigeración
Centralizados aislados a red	10 kW – 1 MW	75000-750,000	-Venta de energía a la red comercial

\*\* Nota: Montos estimados.

Fuente: IIE



## 5.6 FINANCIAMIENTO.

En comparación con otras fuentes de generación eléctrica, como por ejemplo una planta de diesel, el costo inicial de un sistema fotovoltaico es relativamente alto pero el costo de operación y mantenimiento es muy bajo. Esto hace frecuentemente que un sistema fotovoltaico sea la opción más barata aunque el costo inicial constituya una barrera para que muchos usuarios potenciales, sobre todo en zonas rurales, no los puedan adquirir. Por esta razón se buscan mecanismos de financiamiento que permitan una mayor aplicación de estos sistemas:

### 5.6.1 CRÉDITO DEL PROVEEDOR.

Algunos suplidores de equipos fotovoltaicos brindan crédito a sus clientes para la compra de un sistema. En este esquema, generalmente el cliente paga un 30% al contado, con el fin de cobrar el costo de instalación de forma inmediata, y el resto en 4 ó 5 pagos periódicos, en plazos no mayores a un año. Este crédito requiere que el suplidor cuente con varios años de experiencia para conocer el mercado, así como un flujo considerable de ventas para tener suficiente capital de trabajo.

### 5.6.2 ALQUILER DE EQUIPO.

Otro esquema para superar la barrera del alto costo inicial es que el usuario pague una cuota mensual por el consumo de electricidad a la empresa que instala el sistema y en cuyo caso el usuario no es el dueño del equipo sino la empresa que brinda el servicio. Esto significa que en vez de suministrar equipo, se suministra el servicio de energía eléctrica. Ya hay varias experiencias con este sistema de pagos en América Central, por ejemplo en Honduras, Guatemala y Costa Rica.

La decisión de desarrollar un negocio para suministrar servicios en vez de equipo, depende principalmente de las características del mercado, como por ejemplo preferencias de los clientes, capacidad de pago y capacidad de operar o administrar los equipos. También depende de factores como el marco legal del país y los intereses del desarrollador.

Hay que considerar que la venta del servicio eléctrico implica un mayor nivel de involucramiento, interrelación y seguimiento con los clientes; una mayor capacidad técnica y gerencial y compromiso financiero de parte de la empresa promotora. Por otro lado un mayor número de viviendas y comunidades pueden estar interesadas en un sistema como éstos. El esquema es muy aplicable para aquellas zonas que en unos años contarán con conexión a la red eléctrica. Esta modalidad requiere de la posibilidad de capital inicial porque hay que comprar los equipos y las ganancias no son inmediatas, pero el riesgo de no pago es menor que en el esquema de crédito, ya que un alquiler no pagado puede compensarse mediante la transferencia del equipo a otro cliente.

## 5.7 INCENTIVOS.

Actualmente, existen en México tres tipos de incentivos para realizar proyectos de SFVI (Sistemas Fotovoltaicos Interconectados con la red):

### 5.7.1 MEDICIÓN NETA.

El programa Sectorial de Energía 2007-2012, definió como lineamiento de política el establecimiento de mecanismos que permitan el funcionamiento de sistemas de medición neta, entre la red eléctrica y los usuarios que opten por tener capacidad de generación con energía renovable en sus hogares y pequeñas empresas. Esta directriz se concretó en junio de 2007, con la publicación del modelo de contrato de interconexión para fuente de energía renovable o sistema de cogeneración en pequeña escala.

Esquema de medición neta:

- Se rige por un **Contrato de Interconexión** celebrado entre el usuario (persona física o moral) y la CFE, con duración indefinida.
- Es aplicable a servicio residencial hasta 10 kWp.



- Es aplicable a servicio de uso general en baja tensión (<1 kV) hasta 30 kWp.
- Los medidores requeridos se instalan por la CFE, con cargo equivalente a la diferencia en costo con el medidor convencional.
- El usuario puede instalar y mantener a su propia costa medidores adicionales, siempre y cuando cumplan con las normas y prácticas de CFE.

TABLA 5.5 FACTURACIÓN DE LA MEDICIÓN NETA.	
Para fines de facturación la medición neta se determinará como la diferencia: Energía eléctrica recibida de CFE menos energía eléctrica entregada a CFE.	
Diferencia mayor que cero.	Diferencia igual a cero.
Consumiste más energía que la que entregaste. Se considerará como un saldo a favor de la CFE y se facturará en la tarifa aplicable de acuerdo al contrato.	Consumiste la misma cantidad de energía que la que entregaste a CFE, por lo que se facturará el mínimo establecido en la tarifa en la que tienes tu contrato de suministro normal.
Diferencia menor que cero.	
Entregaste más energía que la que consumiste, por lo que se considerará como un crédito energético a tu favor que podrá ser compensado dentro de los 12 meses siguientes, de no ser así dicho crédito se cancela. La facturación procede de la siguiente manera:	
a) Se facturara el mínimo establecido en la tarifa en la que tienes tu contrato de suministro normal. b) Se te guarda virtualmente la energía que quedó a tu favor, para regresártela automáticamente en las siguientes facturaciones en las que se presenten diferencias mayores que cero.	
Fuente: IIE	

### 5.7.2 DEPRECIACIÓN ACELERADA.

La depreciación acelerada es un beneficio fiscal que se otorga sólo a personas morales para la inversión en proyectos de energía renovable, y se encuentra establecida en el Artículo 40 de la Ley del Impuesto Sobre la Renta (LISR) desde el 2005. Usualmente este mecanismo fiscal es aplicable a proyectos comerciales y sus características principales son las siguientes:

- Impulsa el uso de energía proveniente de fuentes renovables.
- Prevé la depreciación acelerada hasta por el 100% durante el primer año, de la maquinaria y equipo para la generación de energía proveniente de fuentes renovables.
- Se sujeta a operación mínima de 5 años. Ésta es una condición para asegurar el cumplimiento del propósito de generación limpia.

EJEMPLO 1 CAPÍTULO 5: DEPRECIACIÓN ACELERADA.		
Capacidad del sistema	5 kW	<b>Cantidad a depreciar: año 1 al 100% (por ejemplo) US\$ 30,000</b> 
Costo del sistema FV	US\$ 30,000	
Menos valor de rescate	-0	
Costo depreciable (cantidad a ser depreciada durante la vida útil del sistema)	US\$ 30,000	
Vida útil del sistema (años)	30	
Depreciación lineal		
Cantidad a depreciar por año (costo depreciable entre vida útil del sistema)	US\$1,000	
El modo de depreciar elegido por el inversionista de acuerdo a su plan fiscal.		
Fuente: IIE		



La depreciación acelerada es permitida por la ley y puede ser apropiada dependiendo de las necesidades de flujo de efectivo de una empresa. Cuando se aplica, se difiere el pago de impuestos y se libera flujo de efectivo.

### 5.7.3 APOYO FINANCIERO

El Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) financia la utilización de fuentes de energía renovable para la generación eléctrica, lo que incluye a los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, con capacidad de hasta 500 kW. Este apoyo financiero para la inversión tiene las siguientes características:

TABLA 5.6 FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA (FIDE).		
Mariano Escobedo 420 Col. Anzures 11590 México, D.F.	Tel. (55)1101-0520 (Conmutador) FIDETEL 01-800-34-33-835 <a href="http://www.fide.org.mx/">http://www.fide.org.mx/</a>	El FIDE cuenta con oficinas en numerosas ciudades de la República Mexicana
Mecanismo de Operación de los Financiamientos FIDE para la utilización de fuentes de energía renovable.		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El usuario entrega al FIDE: (a) Solicitud de apoyo, (b) Carta de Buró de Crédito, (c) Recibos de energía eléctrica, y (d) Monto de la inversión.</li> <li>2. El FIDE consulta al Buró de Crédito y responsable al usuario en 24 horas.</li> <li>3. La propuesta técnica, es responsabilidad del usuario, la cual elabora y entrega al FIDE.</li> <li>4. FIDE analiza la propuesta técnico-económica.</li> <li>5. De comprobarse la factibilidad técnico- económica, se aprueba el proyecto.</li> <li>6. Firma del contrato entre el usuario, el FIDE y el consultor/proveedor.</li> <li>7. Se lleva a cabo la ejecución del proyecto.</li> <li>8. Proyecto concluye satisfactoriamente (puesta en operación del sistema).</li> <li>9. El usuario inicia el reembolso del financiamiento y continúa haciéndolo hasta el plazo previsto.</li> <li>10. El FIDE da seguimiento hasta recuperar totalmente el financiamiento.</li> </ol>		
Fuente: IIE		

TABLA 5.7 CARACTERÍSTICAS DE APOYO FINANCIERO DEL FIDE.		
Monto de financiamiento.	➔	100% del proyecto.
Interés.	➔	Tasa preferencial por debajo de la banca comercial. Se causa intereses sobre saldos insolutos.
Plazo.	➔	Hasta 20 pagos trimestrales fijos (5 años).
Sujetos de financiamiento.	➔	Personas morales.
Fuente: IIE		

Se recomienda:

- Considerar este incentivo únicamente en proyectos comerciales o industriales. Aunque actualmente este incentivo no está dirigido a usuarios domésticos, es posible que eventualmente el FIDE expanda su aplicación.
- Contactar a consultores certificados, fabricantes de equipo, distribuidores y/o contratistas en sistemas fotovoltaicos para la preparación de la propuesta técnico-económica y la realización del proyecto.
- Contactar al FIDE para información sobre más detalles, vigencia y cambios de este mecanismo.

### 5.8 RENTABILIDAD.

Bajo el esquema de medición neta que actualmente existe en México, un SFVI para un usuario doméstico es rentable dependiendo del consumo eléctrico que se tenga, de la tarifa aplicable, del costo del sistema, del recurso solar disponible y del plan financiero. Un aspecto que favorece la rentabilidad es cuando el consumo mensual promedio del usuario (promedio móvil del consumo



durante los últimos 12 meses), supera el límite de alto consumo establecido por la CFE para cada localidad.

**TABLA 5.8 TARIFAS ESPECIFICAS 1, 1A, 1B, 1C, 1D, 1E Y1F (AÑO 2010).**

1	Servicio doméstico.
1A	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 25°C.
1B	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 28°C.
1C	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 30°C.
1D	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 31°C.
1E	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 32°C.
1F	Servicio doméstico para localidades con temperatura media mínima en verano de 33°C.

Fuente: IIE

**TABLA 5.9 LÍMITES DE ALTO CONSUMO DE LA CFE.**

Tarifa	kWh / mes	kWh / bimestre
Tarifa 1	250	500
Tarifa 1 <sup>a</sup>	300	600
Tarifa 1B	400	800
Tarifa 1C	850	1700
Tarifa 1D	1000	2000
Tarifa 1E	2000	4000
Tarifa 1F	2500	5000

Fuente: IIE

Las tarifas aplicables para consumos domésticos superiores al límite de alto consumo (LAC) se denominan “domésticas de alto consumo” (tarifas DAC). Cuando el usuario mantenga un consumo mensual promedio inferior al LAC fijado para su localidad, la CFE aplicará la tarifa de servicio doméstico correspondiente. La CFE establece esta tarifa para uso exclusivamente doméstico y es aplicable individualmente a cada residencia, apartamento, apartamento en condominio o vivienda.

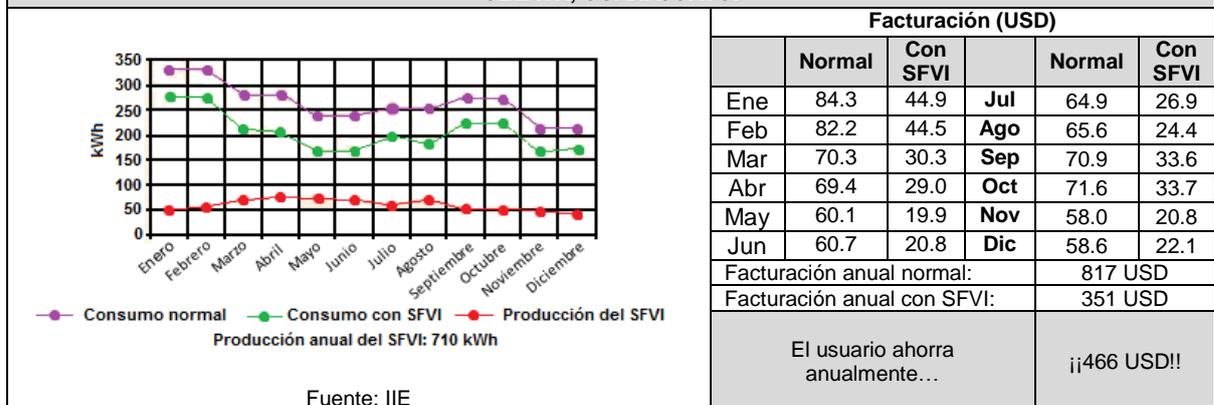
**EJEMPLO 2 CAPITULO 5: RENTABILIDAD DE UN SFVI RESIDENCIAL CON TARIFA DAC, EN CELAYA, GUANAJUATO.**

Consumo eléctrico:	530 kWh/bimestre	Período de recuperación de la inversión.			
Tarifa:	1 – DAC	Tasa de interés	Inversión (USD)		
Sistema FV:	0.5 kWp (interconectado)		3500	4000	4500
Costo O&M:	1% anual de la inversión				
Factor de planta:	16.2%	0%	8.6	9.7	10.8
Vida útil:	25 años	10%	16.1	23.0	> 25

¡Si un usuario residencial invierte 4000 (0% de tasa de interés), a partir del año 10 se producen ganancias netas!

Fuente: IIE

**EJEMPLO 2 CAPÍTULO 5 (CONTINUACIÓN): RENTABILIDAD DE UN SFVI RESIDENCIAL CON TARIFA DAC, EN CELAYA, GUANAJUATO.**





De la misma manera que con usuarios domésticos ocurre, la rentabilidad de los SFVI para usuarios comerciales depende del consumo eléctrico, de la tarifa aplicable, del costo del sistema, del recurso solar y financiero. Sin embargo, el sistema no sólo puede aportar beneficios energéticos y económicos directos, sino que además, dentro de un plan de negocios éste puede representar un valor agregado que resulte compensatorio de la inversión realizada. Al invertir en un SFVI de aplicación comercial se debe considerar los siguientes factores:

- Un sistema representa una decisión de negocios de largo plazo y bajo riesgo.
- Se reduce la dependencia sobre la electricidad de la red. Una vez instalado, el SFVI requiere mínimo mantenimiento proporcionando energía eléctrica de manera limpia y silenciosa durante más de 25 años.
- Se disminuye la facturación eléctrica. Instalar un SFVI es equivalente a efectuar un prepago de más de 25 años de energía.
- Los costos de los módulos de FV exhiben una tendencia decreciente. Esto hace que los proyectos de inversión en SFVI tengan cada vez mejores índices financieros.
- Se podría incrementar la renta o precio de venta de propiedades comerciales con SFVI por su carácter de proyectos con responsabilidad ambiental.
- Convertirse en un “negocio verde” puede presentar mejores relaciones públicas y una buena herramienta de mercadotecnia, ya que un número creciente de consumidores hacen sus decisiones de compra basados en la percepción de responsabilidad ambiental del proveedor.

**5.9 ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LA CAPACIDAD A INSTALAR.**

Siempre es conveniente que antes de contactar a un proveedor de sistemas FV, tengas una estimación preliminar de la capacidad que se pretende instalar e interconectar. A continuación se presentan tres criterios de cálculo para tal propósito: pro requerimiento específico, por disponibilidad de espacio y por limitación presupuestal. Debe enfatizarse que un ejercicio semejante sólo constituye una primera aproximación, por lo que tanto el diseño como la selección de módulos y componentes son tareas que corresponden en última instancia al proveedor.

**5.9.1 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD POR REQUERIMIENTO ESPECÍFICO.**

Aunque estimar la capacidad de un SFVI por requerimiento específico pudiera parecer complicado, en realidad es una tarea sencilla. Como ejemplo, se puede considerar el caso de un usuario doméstico con residencia en la Ciudad de México. Como punto de partida se requiere el recibo eléctrico, ya que éste contiene el historial de consumo (medido en kilowatts-hora o kWh).

HISTORIAL DE CONSUMO (kWh)							CONSUMO ELÉCTRICO PROMEDIO (kWh)
Facturación	Feb	Abr	Jun	Ago	Oct	Dic	
2009	116	503	297	250	250	0	Anual=351+116+503+297+250+250=1767
2008	0	0	0	0	343	351	Bimestral=1767/6=294.5

Fuente: IIE

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

	PROCEDIMIENTO	VALOR	UNIDAD
(a)	Registra el promedio de tus consumos eléctricos bimestrales.	294.5	kWh
(b)	Establece el porcentaje que quieres de producción eléctrica solar fotovoltaica.	50%	-
(c)	Multiplica el valor de la línea (a) por el valor de la línea (b) y divídelo entre 100%.	147.5	kWh
(d)	Divide el valor de la línea (c) entre 60 para obtener el requerimiento diario.	2.45	kWh
(e)	Identifica el número de horas de sol pico para plano inclinado (ver tabla 5.10).	5.38	H <sub>sol-pico</sub>
(f)	Divide el valor de la línea (d) entre (e) para obtener la capacidad (sin pérdidas).	0.457	kWp
(g)	Divide el valor de la línea (f) entre 0.70 para compensar por pérdidas.	0.653	kWp

Fuente: IIE

La capacidad requerida mínima es de 0.635 kilowatts-pico, pero debe ser ajustada. El resultado que se obtiene es una capacidad requerida mínima de 0.653 kilowatts-pico o 653 watts-pico. Este valor debe ser ajustado de acuerdo a la disponibilidad comercial de módulos FV. Por ejemplo, considera que se dispone de módulos comerciales con las siguientes especificaciones:

SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.



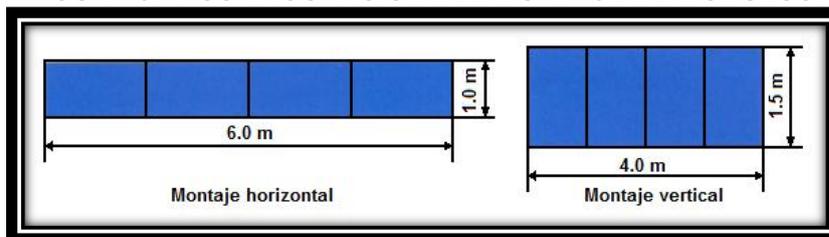
Potencia:	175 Wp		
Dimensiones:	Largo: 1500 mm	Ancho: 1000 mm	Espesor: 45 mm
Fuente: IIE			

El arreglo entonces consistiría en una hilera de módulos con:

$$\text{Número de módulos} = \frac{653 \text{ Wp}}{175 \text{ Wp}} = 3.73 \cong 4 \rightarrow \text{Capacidad} = 4 \times 175 \text{ Wp} = 700 \text{ Wp}$$

La configuración del montaje puede ser horizontal o vertical:

FIGURA 5.17 CONFIGURACIÓN DEL MONTAJE DE MÓDULOS.



Fuente: IIE

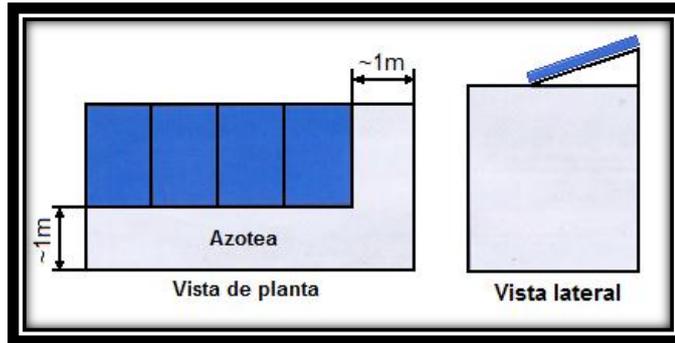
TABLA 5.10 HORAS DE SOL PICO POR DÍA PARA LA REPÚBLICA MEXICANA.

Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*		Entidad Federativa	Ciudad	Latitud norte (°)	Horas de sol pico*	
			Hor	Inc				Hor	Inc
Aguascalientes	Aguascalientes	21.88	5.78	6.10	Nayarit	Tepic	21.51	6.06	6.42
Baja California	Ensenada	31.87	5.98	6.76	Nuevo León	Monterrey	25.70	5.17	5.43
	Mexicali	32.65	5.96	6.81	Oaxaca	Oaxaca	17.06	4.88	5.01
	Tijuana	32.54	5.96	6.79	Puebla	Puebla	19.06	5.22	5.44
Baja California Sur	La Paz	24.15	6.46	6.89	Querétaro	Querétaro	20.61	5.57	5.87
	San José del Cabo	23.06	6.41	6.80	Quintana Roo	Cancún	21.16	6.01	6.32
Campeche	Campeche	19.83	5.91	6.16		Chetumal	18.51	5.85	6.09
Chiapas	Tuxtla Gutiérrez	16.76	4.88	5.00	San Luis Potosí	San Luis Potosí	22.16	5.57	5.85
Chihuahua	Chihuahua	28.63	5.96	6.52	Sinaloa	Culliacán	24.82	6.05	6.52
	Ciudad Juárez	31.73	5.78	6.41		Los Mochis	25.80	6.35	6.84
Coahuila	Saltillo	25.42	5.54	5.86		Mazatlán	23.20	6.04	6.47
	Torreón	25.53	5.96	6.37	Sonora	Ciudad Obregón	27.49	6.35	6.89
Colima	Colima	19.26	5.97	6.30		Hermosillo	29.07	6.22	6.81
Distrito Federal	Ciudad de México	19.33	5.11	5.36	Tabasco	Villahermosa	18.00	5.36	5.50
Durango	Durango	24.04	5.92	6.36	Tamaulipas	Ciudad Victoria	23.73	5.18	5.38
Guanajuato	Guanajuato	21.02	5.77	6.09		Nuevo Laredo	27.49	4.95	5.19
	León	21.11	5.75	6.07		Tampico	22.21	5.05	5.23
Guerrero	Acapulco	16.88	6.19	6.52	Tlaxcala	Tlaxcala	19.32	5.08	5.29
	Chilpancingo	17.54	6.09	6.43	Veracruz	Coatzacoalcos	18.15	4.88	5.00
Hidalgo	Pachuca	20.11	4.96	5.17		Orizaba	18.85	4.64	4.76
Jalisco	Guadalajara	20.69	5.89	6.24		Veracruz	19.20	4.56	4.66
México	Toluca	19.28	5.77	6.09		Xalapa	19.50	4.71	4.84
Michoacán	Morelia	19.71	5.79	6.13	Yucatán	Mérida	20.97	5.94	6.23
Morelos	Cuernavaca	18.92	5.76	6.07	Zacatecas	Zacatecas	22.77	5.86	6.21
Hor = Plano horizontal					Inc = Plano inclinado a la latitud de la localidad correspondiente				
*De acuerdo con datos del Sistema de Información Geográfica para las Energías Renovables en México (SIGER) IIE-GENC, y del Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica de la UNAM.									
Fuente: IIE									

Cuando el montaje se realice en azotea, se recomienda que para fines de mantenimiento y por seguridad, se disponga de espacios libres adyacentes a la superficie destinada al arreglo. Existen diversas posibilidades pero en general es conveniente establecer franjas del orden de 1 m de ancho, tal como se ilustra para un arreglo inclinado con montaje vertical.



FIGURA 5.18 MONTAJE EN AZOTEA CON FRANJAS PARA MANTENIMIENTO.

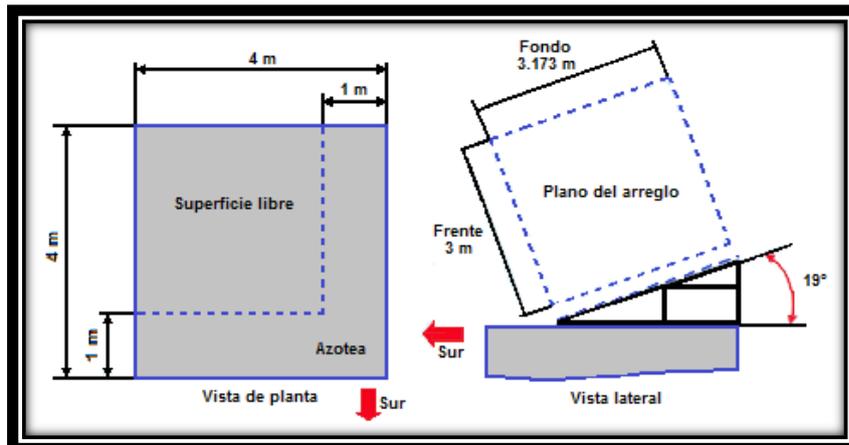


Fuente: IIE

### 5.9.2 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD POR DISPONIBILIDAD DE ESPACIO.

También se puede calcular la capacidad del sistema de acuerdo al espacio disponible, el cual deberá estar libre de sombras durante todo el año. Por ejemplo, considera el caso de un sistema FV residencial que se desea instalar en la Ciudad de México con la máxima capacidad posible (el límite residencial es de 10 kWp). Se dispone de una azotea horizontal libre de sombras sobre la que es posible orientar el arreglo hacia el sur, como se ilustra. La superficie en el plano de la azotea se limita a 9 m<sup>2</sup>.

FIGURA 5.19 ESPACIO DISPONIBLE PARA ARREGLO FOTOVOLTAICO.



Fuente: IIE

Aunque se podría colocar el arreglo de módulos paralelo al techo, para obtener una mayor producción de energía en el año se recomienda un ángulo de inclinación igual a la latitud local, en este caso de la Ciudad de México, esto es ~19° (se debe tomar en cuenta que algunas estructuras prefabricadas sólo permiten ciertos incrementos en su inclinación). Por lo tanto, el plano del arreglo del ejemplo tendrá un frente de 3 m y un fondo de 3.173 m (= 3 m/cos 19°), siendo el área de 3.0 m X 3.173 = 9.52 m<sup>2</sup>.

- **Estimación con base en información general:** Suponiendo que se utilicen módulos de silicio policristalino con un requerimiento de área de ~8.0 m<sup>2</sup>/kWp (ver Tabla 5.3), se puede hacer una primera estimación de la capacidad instalable.

$$\frac{9.52m^2}{8.0 \frac{m^2}{kWp}} \cong 1.19 kWp \text{ ó } 1190 Wp$$

- **Estimación con base en información comercial:** También se puede realizar un cálculo más detallado con base en información comercial. Esta información puede ser consultada en sitios de internet de proveedores de módulos FV. Para efectos ilustrativos se supondrá también el uso de módulos de silicio policristalino, pero en este caso con las siguientes especificaciones:



Potencia:	170 Wp		
Dimensiones:	Largo: 1575 mm	Ancho: 826 mm	Espesor: 46 mm

Tal como se ilustró en la sección 5.9.1, los módulos FV se pueden agrupar en hileras con un montaje horizontal (por su largo) o vertical (por su ancho). Con el objeto de determinar su mejor distribución sin sobrepasar el área libre estipulada se debe hacer un cálculo para cada posibilidad, lo que se muestra a continuación.

Montaje horizontal,

$$\frac{\text{Frente del plano del arreglo}}{\text{Largo del módulo}} = \frac{3000\text{mm}}{1575\text{mm}} = 1.90 \qquad \frac{\text{Fondo del plano del arreglo}}{\text{Ancho del módulo}} = \frac{3173\text{mm}}{826\text{mm}} = 3.84$$

Esto daría un máximo de 1 X 3 = 3 módulos con una capacidad de arreglo de 3 X 170 Wp = 510 Wp.

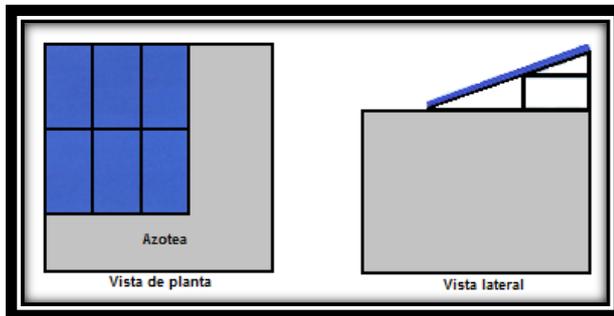
Montaje vertical,

$$\frac{\text{Frente del plano del arreglo}}{\text{Ancho del módulo}} = \frac{3000\text{mm}}{826\text{mm}} = 3.63 \qquad \frac{\text{Fondo del plano del arreglo}}{\text{Largo del módulo}} = \frac{3173\text{mm}}{1575\text{mm}} = 2.01$$

Esto daría un máximo de 3 X 2 = 6 módulos con una capacidad de arreglo de 6 X 170 Wp = 1020 Wp.

Se selecciona entonces la distribución vertical con 6 módulos y 1020 Wp de capacidad, debido a que el propósito planteado es instalar la máxima capacidad posible sin sobrepasar el área límite estipulada.

FIGURA 5.20 ARREGLO FOTOVOLTAICO CON ÁREA LIMITANTE.



Fuente: IIE

Finalmente, se puede determinar la energía eléctrica que podría obtenerse con la capacidad FV calculada (usando el valor de 1020 Wp ó 1.02 kWp). Si se considera una media anual de 5.36 horas de sol pico por día en plano inclinado a la latitud de la Ciudad de México (ver Tabla 5.10), y una eficiencia del 70% en la conversión a corriente alterna, se tendría entonces una producción de:

$$1.02 \text{ kWp} \times 5.36 \frac{h_{\text{sol-pico}}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 0.7 \times \frac{1 \text{ año}}{6 \text{ bimestre}} = 232.8 \frac{\text{kWh}}{\text{bimestre}}$$

Con esta producción eléctrica y considerando, por ejemplo, el historial de consumo referido en la sección 5.9.1 (294.5 kWh por bimestre), se tendría en promedio un ahorro en el consumo de electricidad de la red y en la facturación de alrededor del 79%.

**5.9.3 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD POR LIMITACIÓN PRESUPUESTAL.**

Ahora considera, por ejemplo, que una empresa desea instalar un SFVI comercial de pequeña escala montado en tierra, en principio, sin restricciones de espacio, pero con un presupuesto máximo de US\$ 50,000 (excluyendo impuestos). La capacidad que se puede instalar con este presupuesto depende fundamentalmente del costo de los módulos utilizados, como se ilustra en la tabla que adelante se presenta. Las tecnologías incluyen módulos tanto de silicio cristalino como de película delgada. Los costos han sido supuestos para efectos ilustrativos.



Con esta información y utilizando la proporción del costo de módulos con respecto al costo total (ver Figura 5.15), se calcula el costo unitario del sistema, esto es el costo del sistema por cada kWp instalado. La capacidad del sistema se obtiene dividiendo el presupuesto disponible entre el costo unitario del sistema. Subsecuentemente, se calcula el área requerida utilizando el requerimiento de área para cada tecnología (ver Tabla 5.11).

MODULOS FV		COSTO DEL SFVI	CAPACIDAD	ÁREA REQUERIDA
Tecnología	Costo			
Si-pc	US\$ 3.5 / Wp (ilustrativo)	$\frac{US\$ 3,500/kWp}{0.5}$ $\approx US\$ 7,000/kWp$	$\frac{US\$ 50,000}{US\$ 7,000/kWp} \approx 7.14 kWp$	$7.14 kWp \times 8 \frac{m^2}{kWp}$ $= 57 m^2$
Si-sc	US\$ 4.0 / Wp (ilustrativo)	$\frac{US\$ 4,000/kWp}{0.5}$ $\approx US\$ 8,000/kWp$	$\frac{US\$ 50,000}{US\$ 8,000/kWp} \approx 6.25 kWp$	$6.25 kWp \times 7 \frac{m^2}{kWp}$ $= 44 m^2$
Si-a	US\$ 2.4 / Wp (ilustrativo)	$\frac{US\$ 2,400/kWp}{0.35}$ $\approx US\$ 6,857/kWp$	$\frac{US\$ 50,000}{US\$ 6,857/kWp} \approx 7.29 kWp$	$7.29 kWp \times 16 \frac{m^2}{kWp}$ $= 117 m^2$
CdTe	US\$ 2.6 / Wp (ilustrativo)	$\frac{US\$ 2,600/kWp}{0.35}$ $\approx US\$ 7,429/kWp$	$\frac{US\$ 50,000}{US\$ 7,429/kWp} \approx 6.73 kWp$	$6.73 kWp \times 11 \frac{m^2}{kWp}$ $= 74 m^2$
CIGS	US\$ 3.5 / Wp (ilustrativo)	$\frac{US\$ 3,000/kWp}{0.35}$ $\approx US\$ 8,571/kWp$	$\frac{US\$ 50,000}{US\$ 8,571/kWp} \approx 5.83 kWp$	$5.83 kWp \times 10 \frac{m^2}{kWp}$ $= 58 m^2$

Fuente: IIE

La selección final de la tecnología FV depende de una ponderación entre la capacidad posible y la superficie de instalación requerida. Otras variables a considerar están determinadas por las particularidades del sitio de aplicación, así como por las condiciones climáticas correspondientes. Es importante resaltar que no todas las tecnologías de módulo ofrecen las mismas garantías, por lo que en la decisión final también se deberá tomar en cuenta esta condición.

## 5.10 TRÁMITE DE INTERCONEXIÓN.

### 5.10.1 REQUISITOS.

Los requisitos para realizar un contrato de interconexión en pequeña escala con CFE, son:

- Que tengas un contrato de suministro normal en baja tensión.
- Que las instalaciones cumplan con las Normas Oficiales Mexicanas y con las especificaciones de CFE.
- Que la potencia de tu sistema FV no sea mayor de 10 kWp si lo instalaste en tu domicilio, o de 30 kWp si lo instalaste en tu negocio.

### 5.10.2 CONTRATO DE INTERCONEXIÓN.

La duración del contrato es indefinida y puede terminarse cuando lo desees notificando a la CFE con al menos 30 días de anticipación. Actualmente la CFE registra tus consumos de energía que recibes de la red. Al establecer un contrato de interconexión, CFE te cambiará el medidor, instalando uno que permitirá registrar tanto la energía eléctrica que entra a tu servicio, como la energía eléctrica que sale.

### 5.10.3 PASOS PARA REALIZAR EL CONTRATO DE INTERCONEXIÓN.

1. **Solicitud:** Acudir a la agencia comercial de CFE más cercana llevando el formato de solicitud lleno. La persona que deberá realizar el trámite deberá ser el titular del contrato de suministro normal, si es persona física, o el representante legal, si se trata de persona moral. En ambos casos se requiere presentar identificación oficial. Si se trata de persona moral, el



representante deberá presentar también la documentación que acredite la constitución de la sociedad y el otorgamiento de facultades de la misma hacia la persona que realiza el trámite.

2. **Número de solicitud:** La persona recibirá un número de solicitud. Con este número podrás dar seguimiento a tu solicitud de interconexión.
3. **Revisión de la instalación y requerimiento de obras:** Personal del área técnica de CFE acudirá a tu domicilio para revisar que el sistema FV cumpla con los requisitos técnicos correspondientes. CFE informará de los resultados de la revisión, y en su caso, de las obras que se requieren construir o modificar para efectuar la interconexión, mismas que correrán a cargo del solicitante.
4. **Firma de contrato y pago del importe:** Una vez que haya sido aprobado técnicamente, la persona que realiza el trámite acudirá nuevamente a la agencia comercial de CFE más cercana a firmar su contrato de interconexión y a pagar el importe correspondiente a la diferencia de costos de los medidores.
5. **Instalación del medidor bidireccional:** Personal técnico de CFE acudirá al domicilio a cambiar el medidor.
6. **Contrato de interconexión:** A partir de ese momento, ya tendrás un contrato de interconexión con CFE.

#### 5.11 ASPECTOS AMBIENTALES.

En muchos casos, se tiene que decidir entre una planta eléctrica diesel o un sistema fotovoltaico para electrificar una vivienda rural. Si se comparan ambas alternativas, es posible obtener un panorama ilustrativo de los efectos positivos y negativos de cada una de ellas, tanto del punto de vista económico, como del punto de vista ambiental.

El costo inicial de una planta eléctrica de combustible es menor que el de un sistema fotovoltaico de la misma capacidad. El tiempo de instalación de una planta eléctrica de combustible es menor que el de un sistema fotovoltaico, aunque para las dos alternativas el tiempo es corto y las dificultades de transporte son básicamente las mismas. Además, a nivel local generalmente existen varios distribuidores de plantas eléctricas de combustible.

El abastecimiento periódico de combustible para una planta eléctrica ubicada en un lugar remoto es un problema grande. Las dificultades para transportar el combustible son permanentes. El almacenamiento de combustible, cuando existe, se hace en condiciones peligrosas para la seguridad de las personas y bienes materiales. Los sistemas fotovoltaicos, en cambio, no requieren de ningún suministro de combustible. Los costos, riesgos y peligros relacionados con el uso de combustibles fósiles desaparecen.

Las plantas eléctricas producen ruido cuando operan. Inicialmente esta contaminación sonora suele ser tolerada por el entusiasmo de disponer de energía eléctrica; sin embargo, pronto ésta se hace intolerable, especialmente para las personas de la tercera edad, enfermos y maestros de escuela. Los sistemas fotovoltaicos no producen ningún sonido molesto cuando operan debido a que no poseen partes y movimientos mecánicos por lo que no ocasionan ningún tipo de contaminación sonora.

Las plantas eléctricas producen humo cuando operan. Si la planta no ha recibido el mantenimiento adecuado, la cantidad de humo producido es considerable y dañina para las personas próximas a ésta. Los sistemas fotovoltaicos no producen humo; sin embargo, durante el proceso de carga las baterías liberan al ambiente hidrógeno en cantidades moderadas. La producción de hidrógeno no es un problema si las baterías se encuentran en una habitación ventilada; en caso contrario, se puede producir una explosión debido a la concentración alta de este gas.

El derrame de la solución de ácido sulfúrico de las baterías representa un peligro para la piel de las personas y para el suelo. En la mayoría de los casos, esta contaminación se produce cuando se



abandona irresponsablemente a la intemperie baterías que han cumplido su vida útil. Esta práctica es bastante frecuente en el área rural debido a la falta de programas de educación ambiental y a la falta de recursos para el retiro ecológicamente controlado de las baterías inservibles.

Se puede decir que los sistemas fotovoltaicos poseen impactos ambientales menores que las plantas eléctricas a base de combustibles fósiles. Ellos son una solución amigable con la naturaleza. Sin embargo, el mal uso y manejo de esta tecnología sí puede tener efectos dañinos al medio ambiente. Se sugieren algunas recomendaciones que se deben atender para evitar esto:

- Los sistemas fotovoltaicos deben ser instalados correctamente para evitar su fallo prematuro, de lo contrario ocasionará el abandono de los equipos y su posible deterioro. No tiene sentido invertir en equipo de alta tecnología si éste no será utilizado durante muchos años.
- Debe existir un programa eficaz de retiro y reciclaje de baterías: las baterías fotovoltaicas abandonadas a la intemperie después de cumplir su vida útil ocasionarán contaminación, por lo que es necesario elaborar un programa para el desecho de las baterías.
- Las baterías deben estar instaladas en una habitación especialmente destinada a este propósito: sistemas fotovoltaicos con baterías instaladas en habitaciones utilizadas por personas podrían ocasionar riesgos a la salud y a la seguridad de las personas si no están instaladas en forma segura.

## 5.12 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Los sistemas fotovoltaicos han demostrado su capacidad para proveer energía eléctrica a sitios aislados de la red convencional. Sin embargo, la tecnología fotovoltaica no es siempre la solución más adecuada a todos los problemas de electrificación rural de nuestros países. Dependiendo del caso en particular, la extensión de la red convencional, el empleo de aerogeneradores o el uso de pequeñas centrales hidroeléctricas, pueden ser alternativas válidas. Como regla general, antes de comprar cualquier equipo se debe evaluar detenidamente si éste es la mejor opción o no a un caso particular. Incluso, aun cuando ya se haya decidido utilizar la opción fotovoltaica, el tipo de sistemas que se instalará (CD, CA o Centralizado) es una decisión muy importante que se debe tomar a partir de las necesidades energéticas actuales y futuras y de la disponibilidad económica.

A continuación se mencionarán las ventajas y desventajas que los sistemas fotovoltaicos presentan en la región.

### 5.12.1 VENTAJAS.

- El área de México y América Central disponen de abundante radiación solar.
- La tecnología fotovoltaica permite soluciones modulares y autónomas.
- La operación de los sistemas fotovoltaicos es amigable con el medio ambiente.
- Los sistemas tienen una vida útil larga (más de 20 años).
- El mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos es sencillo y tiene costos muy bajos.
- Los sistemas fotovoltaicos han experimentado una reducción de precios que los hace más accesibles para las poblaciones rurales y se espera que sigan bajando.
- La tecnología de equipos y sistemas fotovoltaicos ha alcanzado un grado de madurez que posibilita su utilización para resolver confiablemente los problemas energéticos de nuestros países.
- En México ya existen distribuidores de equipos fotovoltaicos que ofrecen sus productos y la instalación de los mismos.
- La instalación de los sistemas fotovoltaicos individuales es simple, rápida y sólo requiere de herramientas y equipos de medición básicos.

### 5.12.2 DESVENTAJAS.

- La inversión inicial es alta con respecto de la capacidad de pago de una gran mayoría de las familias rurales.
- La cantidad de energía producida es limitada y alcanza solamente para las necesidades básicas de electricidad.



- La disponibilidad de energía es variable y depende de las condiciones atmosféricas.

### 5.13 USOS FRECUENTES DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA.

- Iluminación de edificios públicos:** Esta es una aplicación de la energía solar para proveer a muchos niños y niñas de recursos audiovisuales necesarios para su formación escolar. El uso de programas de aprendizaje a distancia a través de un televisor y el uso de equipos de sonido para desarrollar las habilidades artísticas de los niños y niñas, son dos de los beneficios directos más evidentes de esta aplicación. También existen beneficios para los adultos; por ejemplo, programas de alfabetización nocturna, reuniones comunitarias nocturnas, puestos de salud, puestos de emergencia, puestos policiales, etc. Una ventaja importante de este tipo de aplicación es que la cantidad de beneficiarios es grande y los costos de este tipo de sistemas no son considerablemente mayores que los costos de un sistema individual para aplicaciones domésticas.
- Iluminación pública:** Generalmente se asocia a los sistemas fotovoltaicos con la iluminación eléctrica para los interiores de las viviendas rurales, sin embargo, la iluminación de canchas de fútbol, espacios libres comunitarios, caminos, parques, calles y otros sitios públicos es otra aplicación extremadamente útil de los sistemas fotovoltaicos. El beneficio de la iluminación es mayor cuando el número de usuarios es grande. Además, los sistemas fotovoltaicos de iluminación pública pueden proveer suficiente energía para el entretenimiento de la comunidad a través de la utilización de televisores o equipos de sonido. Una ventaja importante de la iluminación fotovoltaica pública es que el costo de una luminaria fotovoltaica autónoma no es significativamente mayor que el costo de un sistema fotovoltaico doméstico; mientras que el número de usuarios y el número de beneficios del sistema fotovoltaico de iluminación pública es muchos más grande que en el caso del sistema doméstico de iluminación.
- Iluminación doméstica:** La electrificación fotovoltaica de viviendas rurales es la aplicación más necesaria y frecuente. Miles de sistemas individuales CD y CA se han instalado para proveer de luz y esparcimiento a las familias.
- Electrificación comunal:** Existen ya algunas experiencias con sistemas comunales interconectados en la región. En Honduras, hay experiencia en la utilización de sistemas centralizados para la iluminación pública, de escuelas y de centros de salud (aldeas solares), también en la utilización de computadoras para proveer de acceso a Internet a estudiantes de las escuelas rurales.
- Telefonía:** Otra utilización que se puede llevar a cabo con sistemas fotovoltaicos es la telefonía tipo celular. Este uso es muy dado en zonas rurales muy alejadas donde los sistemas de comunicación no se llevarán en un mediano plazo, por lo que por medio de un teléfono celular, conectado a un sistema fotovoltaico, permite a la comunidad contar con comunicación telefónica.

### 5.14 BARRERAS.

A pesar de las buenas características y oportunidades, existen varias barreras que impiden la mayor aplicación de sistemas fotovoltaicos en América Central. A continuación se mencionan las más importantes:

- **Falta de coordinación regional y local de esfuerzos:** En todos los países centroamericanos surgen iniciativas y proyectos cuyo éxito podría garantizarse si se conocieran las experiencias y los resultados de iniciativas y proyectos similares ya desarrollados por otros en la misma área centroamericana. En buena medida, en todos los países se afronta el mismo tipo de problemas y se formulan el mismo tipo de proyectos; sin embargo, casi siempre, se comienza desde el principio, pues la información ya existente no se analiza ni comparte con el resto de colegas interesados en el tema.



- **Falta de programas de financiamiento para la realización de proyectos de electrificación fotovoltaica de gran cobertura:** Muchos de los proyectos que se realizan se originan de iniciativas privadas o de donaciones extranjeras y, generalmente, no tienen un impacto significativo debido a que tienen una cobertura energética muy reducida. En los sistemas financieros convencionales, existen los créditos para adquirir una casa, un automóvil, electrodomésticos, vacaciones, etc. y son relativamente fáciles de obtener; sin embargo, el crédito para la adquisición de un sistema fotovoltaico no está disponible en todos los países de la región para la mayoría de los usuarios que realmente necesitan de esa ayuda para resolver sus problemas de electrificación doméstica. Está claro que la inversión inicial que requiere la instalación de un sistema fotovoltaico no la puede pagar la mayoría de las familias rurales; sin embargo, si existe en ellas capacidad de pago a créditos a largo plazo con tasas normales de interés. En el fondo, no se trata de un problema de falta de capacidad de pago, sino de una ausencia de programas adecuados de financiamiento a largo plazo destinado a un grupo de usuarios de bajo ingreso.
- **Falta personal capacitado:** la cantidad de personas con la capacidad de diseñar e instalar sistemas fotovoltaicos es todavía limitado en la región de América Central, especialmente en las zonas rurales.
- **Falta de competencia sana entre proveedores de equipos y tendencia a vender e instalar equipos de mala calidad:** El deseo de reducir los precios y de vender más, ha llevado a algunas empresas privadas (proveedoras) tanto a vender equipos de baja calidad como a utilizar mano de obra no calificada para la instalación. Este tipo de prácticas pone en peligro la implementación exitosa de esta tecnología y crea falsas expectativas con respecto de la confiabilidad y duración de los sistemas fotovoltaicos.

#### 5.15 OPORTUNIDADES.

A pesar de las barreras, el futuro de las energías renovables en América Central tiene interesantes posibilidades de desarrollo. Se mencionan las oportunidades más relevantes:

- Existe mayor conciencia en la búsqueda de soluciones apropiadas a los problemas energéticos de la región.
- Se prevé una tendencia a mejorar el trabajo de coordinación, promoción y desarrollo de las energías renovables por parte de organismos locales y regionales.
- Existen ONG's interesadas en la formación técnica para instaladores fotovoltaicos y en capacitaciones relacionadas con aspectos socio-económicos de las energías renovables.
- Existen en todos los países empresas privadas dedicadas a la venta e instalación de equipos fotovoltaicos básicos.
- Las principales universidades centroamericanas disponen de investigadores dedicados al desarrollo de proyectos de electrificación utilizando esta tecnología.



## CONCLUSIONES.

En este trabajo se presentó una alternativa tecnológica eficiente y amigable con el medio ambiente llamada generación distribuida, aunque se piense que este concepto es nuevo, en realidad es tan antiguo como la industria eléctrica, pues en los inicios de esta industria se comenzó generando la energía eléctrica cerca de los puntos de consumo.

La generación distribuida tiene ventajas notables, la principal es la disminución de pérdidas por la transmisión en comparación con la generación convencional. Además que permite acceder a sistemas más seguros y con menor impacto ambiental.

Una de las principales funciones de la generación distribuida es el proporcionar al consumidor final energía eléctrica más confiable y de mayor calidad, ya sea a partir de sistemas fotovoltaicos autónomos o sistemas fotovoltaicos conectados al sistema eléctrico nacional.

La generación de energía eléctrica a partir de energías renovables es una alternativa viable en nuestro país, ya que cuenta con el apoyo de diferentes estancias gubernamentales o directamente el de los proveedores, además que la mayor parte del territorio nacional tiene una gran cantidad de horas pico de sol.

No solo con la utilización de este tipo de tecnología se lograra tener los beneficios y ahorros deseados al utilizarla, para tenerlos se requiere también un cambio de cultura en el uso de la energía en la vida diaria así como recurrir a otras tecnologías como pueden ser electrodomésticos e iluminación ahorradores y de mayor eficiencia.

Si se es un usuario con elevado consumo de energía eléctrica, los sistemas fotovoltaicos interconectados con la red presentan una muy buena alternativa para poder reducir la facturación eléctrica. En los países desarrollados se tiene una gran experiencia sobre el uso de estos sistemas, en nuestro país se encuentran en franca expansión con un gran potencial de aprovechamiento y con ventajas económicas.

Entre otro tipo de ventajas que cuenta este tipo de sistema es que tiene una vida útil de 25 años aproximadamente, para los paneles fotovoltaicos, pero esto no quiere decir que a los 25 años dejen de funcionar por completo si no que a los 25 años pierde solo el 3% de su capacidad de generar energía eléctrica.



El enfoque de este trabajo se dirigió a la pequeña producción, esencialmente para sistemas domésticos. Pero servirá para revisar los aspectos claves de los sistemas fotovoltaicos, estimar la capacidad del sistema, explorar las condiciones de rentabilidad, ponderar los incentivos que contamos en el país, examinar conceptos e identificar los requerimientos del sitio e instalación.

Para la instalación de sistemas fotovoltaicos, hoy en día, se requiere de un capital de inversión que puede ser significativo. Por eso es recomendable que antes de realizar cualquier desembolso analizar el presupuesto con el que se cuenta, y estimar si el beneficio resultante cumplirá satisfactoriamente con las expectativas que se tienen. Por lo anterior se recomienda contactar con varios proveedores para comparar los productos que ofrecen, y conocer varias cotizaciones, donde se indiquen que garantías aplican y por cuánto tiempo.

La utilización de fuentes renovables de energía así como la implementación de la generación distribuida es factible para su utilización en el país y con ello traerán grandes beneficios tanto ambientales como económicos, como se ha demostrado en países como España y Alemania, principalmente, los cuales ya tiene experiencia en la utilización de este tipo de energía y tecnologías. Los subsidios, actualmente otorgado a los hogares, son una barrera para el desarrollo del mercado fotovoltaico en México, especialmente para las regiones en donde se cuenta con una mayor radiación solar en el país, las cuales también reciben gracias a las políticas sociales los mayores subsidios.

Esto hace aún más difícil que los sistemas fotovoltaicos sean competitivos comparados con los precios de la electricidad, dado que estos se mantienen artificialmente bajos. Cualquier recorte a estos subsidios, abrirían las puertas directamente a los nichos de mercado para sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, aun con los subsidios parece probable que los sistemas fotovoltaicos se conviertan una alternativa económicamente viable para los hogares de la clase media y alta, y de la mayoría de las empresas en nuestro país.



## BIBLIOGRAFÍA.

ESPAÑA González Héctor Vinicio, Generación Distribuida Por Medio De Energías Alternas Renovables Y Su Influencia En La Evolución Del Sistema Eléctrico Secundario De Distribución Tradicional. Universidad De San Carlos De Guatemala, Guatemala, Noviembre 2008.

PONCE Corral Carlos, Planificación Óptima De La Generación Distribuida En Redes De Distribución De Energía Eléctrica, Universidad De Zaragoza, Zaragoza, España, Noviembre 2010

Prospectiva Del Sector Eléctrico 2005-2014, Secretaria De Energía, Montañó Fernández Carlos, Primera Edición 2006, México D.F

Energías Renovables Para El Desarrollo Sustentable En México 2009, Secretaria De Energía, Julio Alberto Valle Perena, México, D.F., Septiembre Del 2009

CARBAJAL Gómez Edwin Alberto, Especialización En Combustibles Gaseosos, Universidad De Antioquia, Facultad De Ingeniería, Departamento De Mecánica, Medellín 2003

Manuales Sobre Energía Renovable, Fortalecimiento De La Capacidad En Energía Renovable Para América Central, Bun-Ca, Septiembre Del 2002

Guía Básica De La Generación Distribuida, Fundación De La Energía De La Comunidad De Madrid, Madrid 2007.

Nuevas Energías Renovables: Una Alternativa Energética Sustentable Para México (Análisis Y Propuesta), Instituto De Investigaciones Legislativas Del Senado De La República, Dr. Fabio Luigi Manzini Poli, M. En I. Paloma Macías Guzmán, México Agosto De 2004.

Perfil Energético De América Del Norte II, Grupo De Trabajo De Energía Para América Del Norte/ Grupo De Trabajo De La Alianza Para La Seguridad Y La Prosperidad De América Del Norte. Canadá, México, EUA, Enero De 2006.

Propuesta Para Ampliar La Mitigación De Gases De Efecto Invernadero En El Sector Eléctrico De México, Energía, Tecnología Y Educación, S.C., M. En C. Odón De Buen R., Fis. Judith Navarro, México, Marzo De 2009.

Prospectiva Del Sector Eléctrico 2010-2015, Dirección General De Planeación Energética, Secretaria De Energía, Alejandro Días Bautista, Virginia Doniz Gonzales, Gumersindo Cué Aguilar, México 2010.

TREBOLLE Trebolle David, La Generación Distribuida En España, Instituto De Postgrado Y Formación Continua, Universidad Pontificia Comillas Madrid, Madrid, Enero De 2006.

TORRES Castro Hipacti Maninalli, NAVARRO Govea Oscar Israel, Generación Distribuida Utilizando Biomasa Como Energía Renovable, Facultad De Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma De México, México D.F., Mayo 2010.



<http://www.andesco.org.co/site/assets/media/EFICIENCIA/4-GENERACION%20DISTRIBUIDA%20-%20HUMBERTO%20RODRIGUEZ.pdf>

[http://jaibana.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro044/10rev\\_44.pdf](http://jaibana.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro044/10rev_44.pdf)

<http://www.iie.org.mx/boIEA00/actinv.pdf>

<http://www.offnews.info/downloads/EnerdossierInforme30042010.pdf>

[http://energia.guanajuato.gob.mx/siegconcyteg/formulario/Memorias2009/Panel\\_Generacion\\_Distribuida/Energias\\_Renovables\\_en\\_un\\_Entorno\\_de\\_Generacion\\_Distribuida.pdf](http://energia.guanajuato.gob.mx/siegconcyteg/formulario/Memorias2009/Panel_Generacion_Distribuida/Energias_Renovables_en_un_Entorno_de_Generacion_Distribuida.pdf)

<http://iie.fing.edu.uy/investigacion/grupos/syspot/TvsGD.pdf>

[http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_1917\\_generacion\\_distribui](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_1917_generacion_distribui)

<http://www.anes.org/>

<http://www.fide.org.mx/>